



LUTSK
NATIONAL
TECHNICAL
UNIVERSITY

MATERIALS TECHNOLOGY ENGINEERING 2023

International Conference on
**Engineering, Materials,
Technologies, Transport**

May 16-18, 2023 | Lutsk, Ukraine

Materials of the conference



Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023)

Інженерія, матеріали, технології, транспорт:
Збірник наукових доповідей міжнародної конференції,
Луцьк, Україна, 16–18 травня 2023 р.

Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023)

Engineering, Materials, Technologies, Transport:
Collection of Scientific Reports of the International
Conference, Lutsk, Ukraine, May 16–18, 2023

Луцьк
Вежа-Друк
2023

УДК 621 (06)

М 34

Compilers:

Oleksandr Povstyanoy, Olha Zaleta, Bohdan Valetskyi

Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, М 34 технології, транспорт : збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 16–18 травня 2023 р. / Упоряд.: Олександр Повстяной, Ольга Залета, Богдан Валецький. – Луцьк : Вежа-Друк, 2023. – 276 с.

У цьому збірнику представлені наукові доповіді учасників Міжнародної науково-технічної конференції МТЕ-2023, яка відбулася 16–18 травня в Луцьку, на базі Луцького національного технічного університету. Цей збірник містить загальні відомості про досвід і поглиблення знань із структури, властивостей, технологій одержання металевих, композиційних, керамічних, полімерних і порошкових матеріалів у техніці. Матеріали наукових дискусій присвячені сучасним дослідженням і перспективам розвитку машинобудування в цілому та новим стратегіям розвитку автомобільного транспорту зокрема.

Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023): Engineering, Materials, М 34 Technologies, Transport: Collection of Scientific Reports of the International Conference, Lutsk, Ukraine, May 16-18, 2023 / Compilers: Oleksandr Povstyanoy, Olha Zaleta, Bohdan Valetskyi. – Lutsk : Vezha-Druk , 2023. – 276 c.

This Collection presents scientific reports of the participants of the International Scientific and Technical Conference MTE-2023, which took place on May 16-18 in Lutsk, at the Lutsk National Technical University. This collection contains general information about the experience and deepening of knowledge in the structure, properties, technologies of obtaining metal, composite, ceramic, polymer and powder materials in engineering. The materials of the scientific discussions are devoted to modern research and prospects for the development of mechanical engineering as a whole and to new strategies for the development of road transport in particular.

УДК 621 (06)

ISBN 978-966-940-473-2

© MTE-2023, 2023

© LNTU, 2023

The main strategic principle of the international and scientific activity of the Lutsk National Technical University is the internationalization of its educational and scientific activity as a basis for integration into the international educational and scientific space and as a means of establishing itself in the international arena.

Lutsk National Technical University annually increases its scientific indicators of efficiency and prestige in international and Ukrainian rankings. For the second year in a row, the war in Ukraine affected all the processes taking place in our country. New extremely difficult challenges have also appeared before the science of Ukraine.

Today, LNTU is in the rear, we are in relative safety and we are trying to use this opportunity and do our best to support scientists.

That is why this year we are launching a new international conference to attract domestic and international partners to the scientific space of Ukraine. And the most important thing is to help our Ukrainian youth to obtain high-quality scientific results and establish themselves in life, to find their place in the great world of opportunities.

MTE-2023 COMMITTEES

STEERING COMMITTEE

Conference Leader

Iryna Vakhovych, D.Sc., Professor, Rector of LNTU, Ukraine

Conference Manager

Oleksandr Povstyanoy, D.Sc., Professor, LNTU, Ukraine

Strategic Manager

Valentyna Tkachuk, D.Sc., Professor, LNTU, Ukraine

Scientific Manager

Andriy Buketov, D.Sc., Professor, Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Scientific Secretary

Nataliia Imbirovych, Ph.D, Associate Professor, LNTU, Ukraine

INTERNATIONL COMMITTEE

Professor **Krzysztof Jan Kurzydłowski** (Bialystok University of Technology, Poland)

Professor **Maria Michela Dell'Anna** (Politecnico di Bari, Italy)

Professor **Alison Jane McMillan** (Wrexham Glyndŵr University, United Kingdom)

Professor **Michał Bembenek** (AGH University of Science and Technology, Poland)

Professor **Luís Frólén Ribeiro** (Bragança Polytechnic Institute, Portugal)

Professor **Ewa Pawluszewicz** (Bialystok University of Technology, Poland)

Professor **Maryna Storozhenko** (Scientist at AC2T Austrian Excellence Center for Tribology, Austria)

Professor **Joris Vėžys**, (Kaunas University of Technology, Lithuania)

Professor **Arvydas Pauliukas** (Vytautas Magnus University, Lithuania)

NATIONAL COMMITTEE

Baglyuk Gennadii, Corresponding Member, D.Sc., Institute of Materials Science Problems I.M. Frantsevich National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

Klymenko Serhiy, Corresponding Member, D.Sc., Institute of Superhard Materials V.M. Bakul National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

Palchevskiy Bogdan, D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Marchuk Viktor, D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Stukhlyak Petro, D.Sc., Professor, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Ivanov Vitaii, D.Sc., Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Stupnytsky Vadym, D.Sc., Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Roik Tatyana, D.Sc., Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine

Onysko Oleh, D.Sc., Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivska., Ukraine

Sapon Serhii, Ph.D., Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine

Posuvailo Volodymyr, Ph.D., Associate Professor, Physico-Mechanical Institute G.V. Karpenka of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Slabkyi Andrii, Ph.D., Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Zabolotnyi Oleg, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Selivonchyk Tetyana, Ph.D., Associate Professor, Kovel Industrial and Economic College, Kovel, Ukraine

Vasilev Oleksandr, Ph.D., Associate Professor, Institute for Problems of Materials Science National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

ORGANIZATIONAL COMMITTEE

Redko Rostyslav, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine - the main manager of the organizing committee

Murovanyi Igor, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Onyshchuk Vasyly, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Puts Vitalii, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Chetverzhuk Taras, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Polinkevich Roman, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Valetskiy Bohdan, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Zaleta Olha, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Rusakov Denis, Assistant, Kovel industrial and economic professional college, Kovel, Ukraine

Bychyk Vitaliy, graduate student, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

CONTENT | ЗМІСТ

Bembenek Michał, Мельник Василь, Мосора Юрій Дослідження параметрів сумішо і теплоутворення дизеля DD15 навантажувача Sandvik LH514 у процесі використання альтернативних палив на основі RME.....	14
Bovnegra Liubov, Strelbitskyi Viktor Investigation of the Operational Reliability of Crane Hooks by Statistical Modeling.....	18
Dzenzerskiy Viktor, Tarasov Serhiy, Ivanov Volodymyr, Sukhova Olena Mechanical Properties of Pb–Sn–Ba Grid Alloys for Lead-acid Batteries Produced by Melt Spinning Method.....	20
Hubal Halyna Creation of Macros that Improve Some Actions in LaTeX	23
Kurzydowski Krzysztof Jan, Imbirovich Nataliya, Povstyanoy Oleksandr, Dobosz Romuald Diatoms Shells as Strengthening Elements of Composite Materials.....	25
Kusyi Yaroslav, Kostiyuk Olha, Cocca Paola, Attanasio Aldo Development of Economic Criteria to Provide the Functionally-Oriented Technologies.....	26
Misiura Andrii, Mamunya Yevgen, Kulish Mykola, Pylypenko Andrii Electrical Conductivity of the LDPE-Cu Composite with Different Types of Filler Distribution.....	29
Onysko Oleh, Matei Iurii, Havryliuk Ivan Machining of the Tool-Joint Tapered Thread with Increased Wear Resistance	33
Petrovska Svitlana, Sergiienko Ruslan, Ilkiv Bogdan, Nakamura Takashi, Ohtsuka Makoto Optical, Electrical Properties and Structure of Undoped and M₂O₃ (M=Fe, Al)-doped Multilayer Indium Saving Indium Tin Oxide Thin Films.....	35
Povstyanoy Oleksandr, Imbirovich Nataliya, Rusakov Denis Research of the Properties of Highly Efficient Titanium Porous Materials from Waste of Biomedical Production.....	37
Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Ragulskis L. Pipe Robot with Self-stopping Mechanism.....	41
Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., Ragulskis L. Two-Sided Soft Impacts.....	44
Sapon Serhii, Klochko Oleksandr, Ponomarenko Sergiy, Dzyuba Dmytro The Digital Twin Model of the Spindle Unit.....	47

Synytzia Anna, Sych Olena, Yevich Yan, Vedel Dmytro, Babutina Tetiana, Kondratenko Iryna	
Mechanical Properties of Hydroxyapatite-based Biocomposites Modified by Magnetite and Chitosan	50
Tkachuk Valentyna, Topilnytskyy Petro	
Analysis of the Prospects for Biodiesel Fuel Production	53
Vashchuk Alina, Stanovský Petr, Rogalsky Sergiy, Tarasyuk Oksana, Delpouve Nicolas, Dargent Eric, Izak Pavl, Pasichnyk Mariia	
Fabrication of New Ionic liquid/polyetherimide composite membranes for gas separation	56
Yaremchuk Ivan	
Study of Vibro-Cutting Device Control Systems with CNC to Improve Their Efficiency	59
Знао Junjun, Korzhyk Volodymyr, Stukhliak Petro, Berdnikova Olena, Lepilina Kseniia, Skackov Ihor	
Розробка зносостійких керамічних покриттів для імплантів, нанесених детонаційним напленням	61
Андрух Юлія, Воробйова Вікторія	
Одержання наночастинок срібла з екстракту жмиху винограду, отриманого НЕР (низькотемпературним евтектичним розчинником)	64
Анопко Дмитро, Гончар Ольга, Кочевих Марина, Кушнерова Лілія	
Матеріали для захисту від електромагнітних випромінювань	68
Божко Тетяна, Самчук Людмила	
Дослідження розмірних зв'язків у процесі абразивної обробки пористих матеріалів	71
Бублей Ірина, Коваль Юрій, Сич Тетяна	
Функціональні Cu-Al-Mn сплави з ефектом пам'яті форми	73
Валецький Богдан	
Автоматизований склад	76
Васильєв Євген, Попов Станіслав	
Конструкція модернізованого пневмопістолета для розпилення рідин	79
Віннічук Катерина, Воробйова Вікторія	
Отримання наночастинок золота з використанням екстракту жмиху винограду одержаного НЕР (низькотемпературним евтектичним розчинником)	81
Гадзира Микола, Давидчук Надія, Тимошенко Ярослав, Пінчук Микита	
Синтез наноконпозиційних порошкових систем на основі карбїду кремнію і МАХ-фази Ti_3SiC_2 та розробка композицій для сприйняття електромагнітних хвиль	84

Гальчук Тетяна	
Технологія виготовлення виробів з використанням шламових відходів підшипникового виробництва.....	87
Глотка Олександр, Беліков Сергій, Ольшанецький Вадим, Єсауленко Сергій	
Прогнозування складу карбідів в ливарному жароміцному нікелевому сплаві.....	90
Голенко Костянтин, Войчишин Юрій, Посонський Сергій	
Особливості аналізу напружено-деформованого стану кузовів міських автобусів.....	93
Головко Віктор, Красіков Ігор, Красікова Ірина, Штофель Ольга	
Дослідження властивостей структури матеріалів з включеннями.....	95
Губенко Світлана	
Вплив лазерної дії на тріщиноутворення поблизу включень в сталях.....	98
Гулієва Наталія	
Одношарові фільтри зі зливним потоком води.....	101
Гусачук Дмитро, Парфентьєва Інна, Боярська Інна	
Стратегії реверс інжинірингу у сучасних задачах механічної інженерії.....	103
Дембiцький Валерій, Караїм Володимир	
Управління станцією технічного обслуговування автомобілів.....	106
Дембiцький Валерій, Мурашко-Супрунюк Назарій	
Ефективні методи управління запасами на СТО.....	109
Демченко Валерій, Гнатюк Тетяна, Заремба Поліна	
Срібловмісні нанокompозити на основі полімерів природного походження.....	112
Денисюк Віктор, Черняк Софія, Яблонський Віталій	
Підвищення точності системи прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа.....	114
Денисюк В.Ю., Яблонський Віталій, Черняк Софія	
Аналіз методик скануючої зондової літографії для отримання масок в полімерних плівках поліметилметакрилату.....	118
Джала Роман, Джала Василь, Мельник Мар'ян	
Вплив провідності середовища на електричну ємність поверхневого шару металу.....	122
Залета Ольга, Повстяной Олександр, Залета Андрій	
Моделювання роботи технологічного обладнання з використанням методу мереж Петрі.....	124
Зозуля Валерій, Осадчий Сергій, Тернавський Олег.	
Розробка вбудованого контролера системи керування програмного руху платформи Стюарта.....	127

Імбирович Наталія, Курджидловський Кшиштоф Ян, Звірко Ольга, Повстяной Олександр, Боярська Інна	
Керамічні біо-покриття на титанових сплавах: морфологія поверхні, хімічний склад.....	130
Калініченко Володимир	
Комплексний підхід до зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах.....	133
Кашицький Віталій, Савчук Петро, Садова Оксана, Климовець Олександр	
Ефективність обробки компонентів полінаповнених епоксикомпозитних матеріалів у фізичних полях	136
Кедровський Сергій, Коваль Юрій, Сліпченко Вячеслав	
Сучасні функціональні матеріали з ефектом пам'яті форми медичного призначення.....	139
Кишун Володимир	
Електрифікація громадського транспорту узаконена.....	141
Клименко Сергій, Копейкіна Марина, Мельничук Юрій	
Еволюція структурного стану твердого сплаву у процесі експлуатації різального інструменту.....	145
Коваль Юрій, Федосов Сергій, Яшинський Леонід, Захарчук Дмитро, Панасюк Леонід	
П'єзоелектричні властивості монокристалів антимоніду кадмію до та після γ-опромінення.....	148
Ковальов Віктор, Васильченко Яна, Шаповалов Максим, Хорошайло Вадим, Станкова Марина	
Система адаптивного управління процесом механічної обробки на важких верстатах.....	151
Лаврінченко Валерій, Солод Володимир	
Наповненість профілю шорсткої поверхні, отриманої при алмазно-абразивній обробці, як один з факторів її тримальної здатності	154
Ляшок Ярослав, Подкопаєв Сергій, Повзун Олексій, Вірич Світлана, Калиниченко Валерій	
Композиційний матеріал на основі відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва машинобудівних заводів.....	157
Мазна Олександра, Безсмертна Вікторія, Коханий Валерій, Василенков Юрій	
Екрануючі полімерні композиційні матеріали на основі омбінованих волокнистих наповнювачів зі структурою метаматеріалів.....	160
Макаров Володимир, Савенок Дмитро, Мастепан Олена	
Формування стратегії розвитку удосконалювання виробничої системи підприємства автосервісу.....	163

Макарова Тамара, Мастепан Сергій, Кузьмін Віктор Удосконалення виробничих структур підприємств автомобільного транспорту	166
Максимів Ольга, Кирилів Володимир, Звірко Ольга Залежність зносостійкості сталі з поверхневою нанокристалічною структурою від моди інтенсивної пластичної деформації	169
Мартинюк Віктор, Пуць Віталій, Панчук Максим, Мельник Євгеній Підвищення ефективності обробки ливарних виробів у дробометному барабані	172
Маруженко Олексій, Мамуня Євген, Юрженко Максим Використання сегрегованих полімерних композитів у зварюванні пластмас	175
Марчук Віктор, Тулашвілі Юрій, Лук'янчук Юрій, Суринович Олена Алгоритм оцінювання якості 3D моделі для адитивного виробництва	178
Мастепан Микола, Виноградов Микола, Кузьміна Вікторія Удосконалення системи організації виробництва послуг на підприємствах автосервісу	181
Маяк Микола, Мурований Ігор Сучасні транспортні технології у мультимодальних перевезеннях	184
Мікуліч Олена, Самчук Людмила Метод оптимізації мікроструктури пінистих матеріалів на основі аналітично-числового моделювання	188
Олійник Нонна, Льницька Галина, Петасюк Григорій, Базалій Галина Особливості фізико-механічних характеристик порошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розділення	191
Оргіян Олександр, Баланюк Ганна, Тіхенко Валентин Амплітудна модуляція коливань	195
Охріменко Віктор, Гапонова Оксана Перспективи застосування електроіскрового легування	198
Повстяной Орій, Михайлов Анатолій, Штефан Євгеній, Михайлов Олег Визначення раціональної схеми пресування при виготовленні багат шарових фільтруючих елементів	201
Полінкевич Роман, Редько Ростислав, Четвержук Тарас, Зубовецька Наталія Вплив несучої системи верстата на показники його якості	204
Посувайло Володимир, Білий Левко, Івашків Василь, Ковальчук Ігор Корозійні властивості оксидокерамічних покриттів синтезованих на сплавах Д16 та АМг5	208

Привалко Елеонора	
Структура і термодинамічні властивості полімерних систем із внутрішньомолекулярною хімічною неоднорідністю.....	211
Придальний Борис	
Синтез структур автоматичних затискних механізмів з розширеними технологічними можливостями.....	214
Присяжнюк Павло, Молчанов Андрій	
Визначення механічних властивостей твердих розчинів боридів $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, V)_2$ методом віртуального кристалічного наближення.....	217
Пуць Віталій, Муравинець Юлія, Клименко Олександр	
Підвищення надійності зубчастих передач.....	222
Рацька Надія, Івашків Василь, Чучман Мар'ян, Васи́лів Христина	
Особливості наводнювання низьковуглецевої сталі у корозивних середовищах за присутності CO_2 і H_2S.....	225
Редько Назарій, Редько Ростислав	
Проблема розробки маловідходних технологій виготовлення затискних цанг для верстатів високопродуктивної обробки.....	229
Решетило Анатолій, Сичук Віктор	
Покращення режимів плазмової обробки шляхом аналізу продуктів згоряння.....	233
Самостян Віктор	
Використання універсальних форм та простих геометричних образів в дизайні автомобіля.....	236
Сидорчук Олег, Гогаєв Казбек, Радченко Олександр, Аскеров Мукафат	
Гейбат огли, Подрезов Юрій, Євич Ян	
Відпускна крихкість штампової сталі 4X4H5M4Ф2 (без високотемпературної механічної обробки).....	240
Симонюк Володимир, Тимошук Антон	
До можливості вдосконалення 3D-друку за технологією SLS.....	242
Сичук Аліна, Сичук Віктор	
Дистанційно-керований роботизований маніпулятор.....	244
Сухова Олена, Полонський Володимир	
Корозія ікосаедричних і декагональних квазікристалів у сплавах Al-Cu-Fe та Al-Cu-Co.....	247
Тогобицька Дарія, Молчанов Лавр, Кисляков Володимир, Ліхачов Юрій	
Розробка інформаційно-математичного забезпечення екпертної системи позапічної десульфурзації чавуну.....	250
Труш Василь, Погрелюк Ірина, Лук'яненко Олександр, Кравчишин Тарас, Тихоновський Михайло, Стоєв Петро	
Вплив модифікування поверхневого шару киснем на опірність окисненню сплаву Zr-1%Nb.....	253

Фальченко Юрій, Михайлов Леонід, Федорчук Віктор, Петрушинець Лідія Розробка технології зварювання мішені для отримання ізотопу ^{22}Na	256
Фешук Юрій, Рибальченко Віталій, Кашицький Віталій, Мельничук Микола Технологічні особливості термо-механічного зварювання листових конструкцій	259
Цибуленко Всеволод, Воронцов Борис Методи оцінки субстактивно-адитивного виробництва	261
Черновол Михайло, Шепеленко Ігор, Магопєць Сергій Відновлення та зміцнення деталей машин зносостійкими покриттями	264
Чорноіваненко Катерина Закономірності структуроутворення при науглецюванні ванадієвих сплавів в ізотермічних умовах	267
Шаповал Микола, Вірченко Віктор, Криворот Анатолій, Михайлик В. Гідравлічний однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму	270
Шимчук Сергій, Півницький Микола, Зайчук Наталія, Мартинюк Віктор Перспективи використання пересувних стрічкових машин конвеєрного типу	273

Дослідження параметрів сумішо і теплоутворення дизеля DD15 навантажувача Sandvik LH514 у процесі використання альтернативних палив на основі RME

Bembenek Michał¹[0000-0002-7665-8058], Мельник Василь²[0000-0002-5793-5486],
Мосора Юрій²[0000-0002-3192-7146]

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, AGH University of Science and Technology,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland

² Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна
bembenek@agh.edu.pl

Анотація. Сьогодні в світі зростає дефіцит товарних палив для двигунів. Це пов'язано із тенденцією регулювання видобутку вуглеводнів, що є основною сировиною для їх отримання.

А, отже з метою зменшення імпорту нафти, сьогодні набувають поширення альтернативні види палива для дизельних двигунів на основі олій та тваринних жирів.

У зв'язку з цим ведуться інтенсивні роботи по переведенні двигунів внутрішнього згорання на біопаливо як в країнах з обмеженими паливно-енергетичними ресурсами, так і в високорозвинених країнах, що мають можливість придбання рідких енергоносіїв.

Біодизельне паливо (біодизель, PME, RME, FAME, EMAG і ін.) – це екологічно чистий вид біопалива, який одержують із жирів рослинного і тваринного походження і використовуваний для заміни нафтового дизельного палива.

За результатами моделювання у процесі використання біодизельного палива RME B100 нами встановлено зниження викидів діоксидів азоту на 21,5 % та зниження викидів сажі на 34,5 %. Це позитивно вплине на екологічні показники роботи навантажувача Sandvik LH514, що є особливо актуальним у закритих середовищах наприклад у шахтах.

Отже, за результатами досліджень роботи двигуна DD15 навантажувача Sandvik LH514 на товарному та біодизельному паливі RME B100 встановлено, що використання біодизельного палива призводить до погіршення сумішоутворення за рахунок чого знижується тепловиділення і як наслідок зростає витрата палива, знижується потужність двигуна, проте значно покращуються його екологічні показники роботи.

Ключові слова: двигун, альтернативні палива, біодизель, економія, розпилення, змішування, тепловиділення, витрата, потужність.

1. Постановка проблеми

Дизельні двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) розроблені і адаптовані під використання стандартного дизельного палива. Проте, перспектива використання альтернативних біопалив має істотну економічну та екологічну доцільність.

Техніко-економічні показники біопалив можуть бути реалізовані в разі забезпечення економічної, надійної і довговічної експлуатації ДВЗ при їх використанні.

Закономірно, що використання альтернативних біопалив призведе до зміни робочого процесу в циліндрах ДВЗ, а дана зміна може призвести до порушення режиму роботи двигуна, зниження надійності і довговічності.

Отже, питання дослідження сумішо- і теплоутворення в дизелях DD15 у процесі використання біодизельного палива RME B100 є актуальним, а результати допоможуть усунути або зменшити негативні фактори, що призводять до погіршення техніко-експлуатаційних показників ДВЗ.

2. Аналіз літературних джерел

Науковцями [1-10] досліджено можливість використання біодизельного палива на ДВЗ та його вплив на основні екологічні показники.

За результатами огляду літературних джерел [1-10] нами встановлено, що на процес сумішо- і теплоутворення впливають такі фактори як тиск розпилення палива, кут розпилення палива, кількість соплових отворів, вміст у паливі водню та кисню, а вплив біодизельного палива на основі RME на дані процеси малодосліджений.

3. Результати дослідження

Схему розвитку струменя в пристінковій зоні (див. рис. 1). У період попадання переднього фронту струменя на стінку на ній формується конусоподібний ущільнений паливо-газовий шар (7) в межах плями, утворений перетином конуса струменя з поверхнею стінки. Після швидкого формування фронту струменя на стінку паливо почне розтікатися за межі початкової плями. Швидкісний осьовий потік струменя, потрапляючи на стінку, ущільнює пристінковий шар, розсуває його межі, а частина потоку рухається над цим шаром до його периферії. Форма пристінкової плями і швидкість його розтікання в різних напрямках залежать від кута зустрічі струменя зі стінкою і впливу повітряного завихрення.

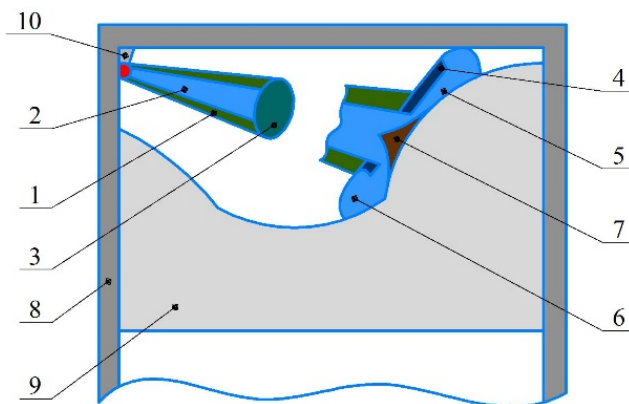


Рис. 1. Розрахункова схема паливного струменя

- 1 – розріджена оболонка струменя; 2 – ущільнене осьове ядро; 3 – ущільнений передній фронт; 4 – розріджена оболонка ПП; 5 – ущільнене ядро ПП; 6 – передній фронт ПП; 7 – конусоподібне осьове ядро ПП; 8 – циліндр; 9 – поршень; 10 – форсунка

За результатами моделювання у процесі використання біодизельного палива RME B100 нами отримано зниження викидів диоксидів азоту на 21,5 % та зниження викидів сажі на 34,5 %. Це можна пояснити зниженням температури згоряння біодизельного палива на 7 % та зниженням вмісту у паливі вуглецю на 11,5 %.

В результаті досліджень роботи двигуна DD15 навантажувача Sandvik LH514 на товарному та біодизельному паливі RME B100 встановлено, що використання біодизельного палива призводить до погіршення сумішоутворення за рахунок чого знижується тепловиділення і як наслідок зростає витрата палива, знижується потужність двигуна, проте значно покращуються його екологічні показники роботи.

А, тому, подальші дослідження повинні бути спрямовані на покращення сумішоутворення у процесі використання біодизельного палива і як один із варіантів удосконалення геометричних форм камери згоряння.

Список посилань

1. Horibe N., University K., Komizo T., Mamizuka Y., Sumimoto T. Analysis of Mixture Formation Process in a Diesel Engine with Post Injection / September 01, 2015 by SAE International in United States // JSAE/SAE 2015 International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. Doi: <https://doi.org/10.4271/2015-01-1836>.

2. Jo, H., Ishikawa, T., Horibe, N., Hayashi, J. et al., "Effect of Jet-Jet Angle on Combustion Process of Diesel Spray in an RCEM," SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility 3(1): 276-286, 2021. Doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2058>.
3. F. Millo, A. Piano, S. Roggio, J.V. Pastor, C. Micó, F. Lewiski, F.C. Pesce, A. Vassallo, A. Bianco. Mixture formation and combustion process analysis of an innovative diesel piston bowl design through the synergetic application of numerical and optical techniques / Fuel, Volume 309, 1 February 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122144>.
4. A. Piano. S. Roggio. F. Millo. A. García. C. Micó. F. Lewiski. F.C. Pesce. A. Vassallo. A. Bianco. Numerical and optical soot characterization through 2-color pyrometry technique for an innovative diesel piston bowl design / Fuel Volume 333, Part 1, 1 February 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126347>.
5. A. Jena, A. Pratap, S. Avinash, K. Agarwal. Optical and computational investigations of the effect of Spray-Swirl interactions on autoignition and soot formation in a compression ignition engine fuelled by Diesel, dieselene and diesohol / Applied Energy, Volume 324, 15 October 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119677>
6. Sevostyanov S.M., Melnyk M.E., Vakarenko S.V. / Research of intercommunication of serve of fuel and mixtureform with working process in diesels during work on partial modes // Sworld – 18-27 december 2012 // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education, 2012. – P. 48-53.
7. Feng Li, Jun-feng Xu. Numerical analysis of mixing and combustion characteristics of a lateral swirl combustion system in OP2S diesel engines / Automobile Engineering, September 16, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1177/09544070221121874>.
8. Abani N, Chiang M, Thomas I, et al. Developing a 55% BTE commercial heavy-duty opposed-piston engine without a waste heat recovery system. March 28, 2017 by SAE International in United States. DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-01-0638>.
9. Huo M, Huang Y, Hofbauer P. Piston design impact on the scavenging and combustion in an opposed-piston, opposed-cylinder (OPOC) two-stroke engine. SAE International in United States, April 14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-01-1269>.
10. J. Eismarka, M. Christensen, M. Andersson, A. Karlssona, I. Denbratt. Role of fuel properties and piston shape in influencing soot oxidation in heavy-duty low swirl diesel engine combustion / Fuel, Volume 254, 15 October 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.151>.

Investigation of the Operational Reliability of Crane Hooks by Statistical Modeling

Bovnegra Liubov ^{1[0000-0003-0429-2816]}, Strelbitskyi Viktor ^{2[0000-0001-7027-9498]}

¹Odesa National Polytechnic University, 1, Shevchenko Avenue, Odesa 65044, Ukraine,

²Odesa National Maritime University, 34, Mechnikova Street, Odesa, 65029, Ukraine
vict141174@gmail.com

Abstract. Port cranes are widely used for movement from one position to another and cargo loading onto a ship. Cranes are highly dangerous objects. One of the important components of the crane is the hook suspension. Cranes are highly dangerous objects. One of the important components of the crane is the hook suspension. This work analyses and evaluates the technical system reliability of crane hooks by statistical modeling. For research 60 portal cranes hooks were selected. The crane hooks surveys were carried out twice a year for 4 years. Analysis of studies showed that the most dangerous defects are cracks in the hooks, which lead to premature failure. These cracks could not be detected by visual inspection without dismantling the hook, since they were under the nut. After analyzing the data obtained using Microsoft Excel 2010 and calculating statistical characteristics, it was found that the operating time for failure generally corresponds to an exponential distribution.

Keywords: Side Plates, Crane Hook, Stress Analysis, Finite Element Method.

1. Introduction

Port cranes play a vital role in day-to-day port operations. They are used for unloading cargo. and used in movement from one position to another and cargo loading onto a ship. Cranes are highly dangerous objects. Crane hook is a prominent component used for lifting the loads. A crane hook are highly liable components, is a device used for grabbing and lifting the loads by means of a crane.

Increasing loads on aging lifting and transport equipment force the owners of ports to continue to operate them, which leads to an increase in the risks of any operation and in the level of injuries and accidents caused by technical reasons.

This work analyses and evaluates the technical system reliability of crane hooks by statistical modeling.

2. Research methodology and results

For research, 60 portal cranes hooks were selected forged, respectively, which work overtime in seaports.

The crane hooks surveys were carried out twice a year for 4 years, and visual [1] and magnetic (coercitymetric) methods [2] of non-destructive testing were used for technical diagnostics of cranes. Analysis of the studies has shown that the most dangerous defects are cracks in the shank. As a result, three hooks prematurely failed.

The analysis of cranes documentation and hook studies showed that: 1) the most dangerous defects are cracks in the shank; 2) three hooks failed prematurely; 3) 14 hooks failed in 5 years: 5) fatigue cracks in the thread of the hook shank were not detected in a timely manner during a visual inspection of the crane, since they were under the nut.

The processing of the received data (statistical material) was carried out using Microsoft Excel 2010. The calculated values of mathematical expectation, variation, standard deviation, coefficients of variation allowed us to establish that the probability distribution of trouble-free operation of hooks of hook suspensions of lifting cranes as a whole obeys an exponential distribution (Fig.1).

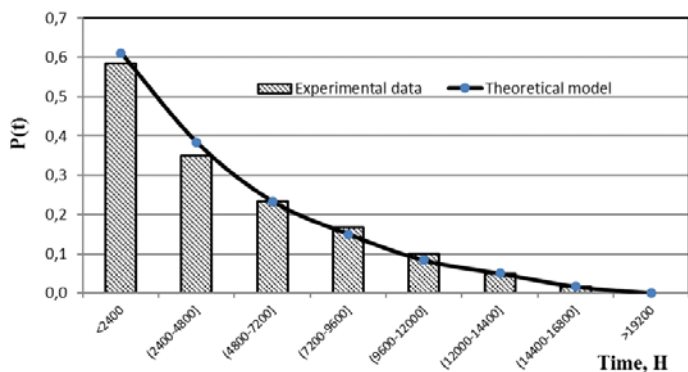


Fig. 1. Probability distribution of trouble-free operation of hooks of hook suspensions of portal cranes

References

1. MV 0.00-7.01-05. Metodichni vказivky z provedennia mahnitnoho kontroliu napruzhenodeformovanoho stanu metalokonstruksii pidiomnykh sporud ta vyznachennia yikh zalyskovoho resursu. – K.: 2005. – 77 s.
2. Strelbitskyi V.V. Doslidzhennia vplyvu mekhanizmu peresuvannia na resurs metalokonstruksii mostovykh kraniv morskykh portiv / V.V. Strelbitskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 3. – S. 249-253.

Mechanical Properties of Pb–Sn–Ba Grid Alloys for Lead-acid Batteries Produced by Melt Spinning Method

Dzenzerskiy Viktor, Tarasov Serhiy, Ivanov Volodymyr, Sukhova Olena

Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine,
5, Piszarshevsky St., Dnipro, 49005, Ukraine
sukhovaya@ukr.net

Abstract. New approach to conventional manufacture technologies for the Pb–Sn–Ba grids of lead-acid batteries that involves two roll melt spinning process has been proposed in this work. The technology provides rapid cooling at a rate of $3,8 \cdot 10^5$ K/s from 425°C to room temperature to ensure structural stability and to develop suitable microstructure of the battery grids with enhanced mechanical properties at high service temperatures of up to 80°C.

In the as-quenched state, microstructure of the lower and higher barium content Pb–Sn–Ba grids, prepared at various tin contents, consists of uniform grains of a supersaturated lead-based solid solution. The addition of barium enhances tensile strength and hardness of the battery grids, while the addition of tin increases their elongation to failure. Besides, the tensile strength and hardness of the battery grids significantly increase during first 24 hours of age-annealing at 80 °C. With annealing time prolonging up to 3200 hours, the mechanical characteristics remain almost unchanged.

Keywords: Lead-Acid Batteries, Annealing, Mechanical Properties.

1. Introduction

Lead-acid batteries have been used for decades in many different applications that include motorized vehicles, power supplies, telecommunication systems, and various household duties [1]. In some automobile and industrial applications, lead-acid batteries work at temperatures that reach up to 80 °C. The higher operating temperatures lead to much more rapid corrosion of the positive grids resulted in the problems causing premature failure of the batteries [2].

A few advantages to produce grid materials may offer melt-spinning method that utilizes a rapid cooling to transform melted base materials into grids. Since no information has been found in the literature about application of twin roll spin melting method to prepare high-temperature Pb–Sn–Ba grid materials for lead-acid batteries, an investigation has been made of the grids obtained by this process to improve their mechanical properties and prolong service life.

2. Materials and methods

Pb–Sn–Ba grid alloys were prepared in the following compositional ranges (purity better than 99,9 %): Ba (0,030-0,052 wt. %), Sn (1,08-1,33 wt. %), Pb – the balance. The battery grids were manufactured by two roll melt spinning method [3]. To simulate high-temperature battery operating conditions, the samples of Pb–Sn–Ba grid alloys were annealed at 80 °C for 5-3200 hours after manufacturing. Microstructure was characterized by scanning electron microscopy using REM-106I device. The X-ray examination was performed using DRON-2.0 diffractometer with Cu- K_{α} radiation. Microhardness (H_{μ}) was measured by PMT-3 Vickers indenter. Tensile stretching machine P-0,5 was used to determine the tensile strength (σ) and elongation to failure (δ). The uncertainty of the mechanical characteristics did not exceed 3 %.

3. Results and discussion

In the as-quenched state (immediately after spinning), the Pb–Sn–Ba grids produce fine dispersed grains, which shape is close to globular. The specimens exhibit relatively low tensile strength which values range from 19 to 25 MPa (Fig. 1, a). Meanwhile, tensile strength tends to slightly decrease (by 10 %) with increasing a tin content of the grid alloys. During first eight hours of age-annealing process at 80 °C, the tensile strength of the grids increases by 13–14 MPa, which exceeds the initial value by 55-65 %. Such sharp increase in the tensile strength may relate to nonequilibrium grid structure obtained during melt spinning process. As annealing time increases up to 24 hours, tensile strength of the battery grids reaches the maximum values.

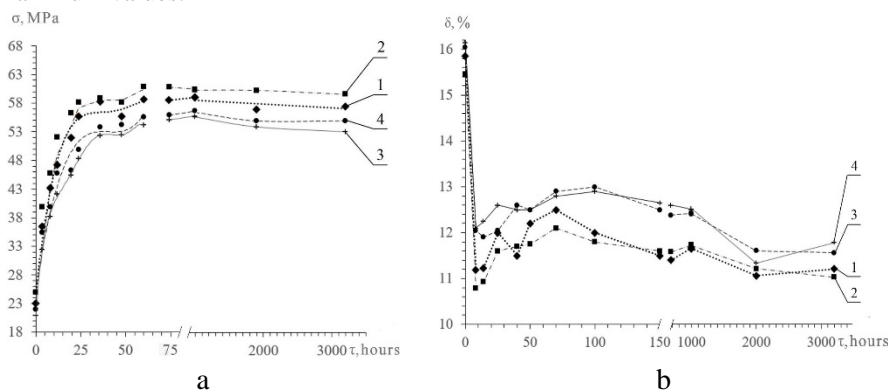


Fig. 1. Tensile strength (a) and elongation (b) vs. annealing time at 80 °C of $PbBa_{0.03}Sn_{1.0}$ (1), $PbBa_{0.05}Sn_{1.0}$ (2), $PbBa_{0.03}Sn_{1.3}$ (3) and $PbBa_{0.05}Sn_{1.3}$ (4) grid alloys

Further prolongation of annealing time up to 3200 hours at 80 °C does not lead to essential strengthening of the grids. Changes in the values of tensile strength do not exceed 3 MPa after ageing during 120–3200 hours. Tensile strength changes proportionally to the increase in barium content and inversely proportional to the increase in tin content of the battery grids.

The microhardness measurements have proved to show trends similar to those observed for tensile strength. Prolongation of ageing up to 700–750 hours is succeeded by monotonic decrease in microhardness. In the time range of 750–2800 hours, microhardness remains almost unchanged, so no loss of strength occurs.

Elongation to failure of the battery grids tends to drop sharply during first 8 hours of ageing, but, with annealing prolonging from 72 to 3200 hours, elongation does not noticeably change (Fig. 1, b). Unequivocal dependency of this characteristic on Ba concentration of the grids has not been established. Meanwhile, some increase in the ductility of the grid materials is observed with increasing amount of Sn.

The properties of the Pb–Sn–Ba grids are found to be attained by precipitation hardening that involves the formation of Pb_3Ba precipitates at earlier stages of annealing and Sn_5Ba precipitates during further annealing. By producing more stable Sn_5Ba phase instead of Pb_3Ba and reducing or eliminating grain boundary movement, the microstructural stability of the battery grids can be achieved at elevated temperatures. The grids exhibit steady properties, i. e. no deterioration with ageing.

In summary, two roll melt spinning grid-production technique provides a better means of achieving superior mechanical properties of the Pb–Sn–Ba battery grids even after manufacturing. All these improvements are focused on developing successful engineering product demonstrating promising application potential.

References

1. Lead-acid batteries / D.A.J. Rand [et al.]. – Amsterdam: Elsevier, 2004. – 543 p.
2. Sukhova O.V. Corrosion-electrochemical properties of quasicrystalline Al–Cu–Fe–(Si,B) and Al–Ni–Fe alloys in NaCl solution / O.V. Sukhova, V. A. Polonskiy, K.V. Ustinova // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2018. – Vol. 121, no. 6. – P. 77-83.
3. Dzenzerskiy V. A. Physical and chemical properties of liquid-quenched battery alloy of Pb–Ca–Sn system / V.A. Dzenzerskiy, V.F. Bashev, V.A. Polonskiy, S.V. Tarasov, Yu.I. Kazacha, V.A. Ivanov, A.A. Kostina // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. – 2014. – Vol. 36, no. 2. – P. 259-273.

Creation of Macros that Improve Some Actions in LaTeX

Hubal Halyna ^[0000-0002-8824-4565]

Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine
halynahbl@gmail.com

Abstract. This paper deals with the LaTeX programming language which is especially necessary for using math, foreign fonts, complex formatting in large and structural documents. In this paper, it is created macros (source codes are given) in order to improve adding references to everything that can be numbered and to improve adding different types of footnotes in LaTeX documents. These macros can be embodied in a LaTeX style file.

Keywords: Macros, Source Codes, References, Footnotes.

1. Introduction

In this paper, we consider how to create some macros to improve writing source codes in the LaTeX programming language.

LaTeX is especially necessary for using math, foreign fonts, complex formatting in large and structural documents with references and footnotes, etc. [1]-[5]. LaTeX is capable of solving any programming task and is able to achieve everything other generic programming languages (e.g. C++, Java, Python) can do.

2. Main Results

Consider how to create macros in order to improve adding references to everything that can be numbered in LaTeX documents.

Creating the macro to add a reference to a table, we create a new command `\rs` in the preamble of a LaTeX document:

```
\newcommand\rs[1]{table~\ref{#1}}
```

The following source code where we call this command in the body of the document generates the reference to the table:

```
\begin{table}[h]
\centering
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
\((xi) & 0 & 1 & 50\| \hline
\((p) & 0,89 & 0,1 & 0,01\| \hline
\end{tabular}
\caption{Distribution of a Random Variable}
\label{distr}
\end{table}
```

Distribution of a random variable is given by `\rs{distr}`.

Consider how to create macros in order to improve adding footnotes in LaTeX documents. Let us create a new command `\nt` in the preamble of the LaTeX document:


```
\newcommand\nt[1]{\unskip\footnote{#1}}
```

Then we call this command in the body of the document:

```
Some text \nt{footnote text}
```

and this generates the numbered footnote at the bottom of the page.

We can place a footnote number in the margin and the footnote text at the bottom of the page of a LaTeX document. For this, we create a new command `\mft` in the preamble of the document:

```
\newcommand\mft[1]{\marginpar{\footnotemark}\footnotetext{#1}}
```

Then we call this command in the body of the document:

```
Some text \mft{footnote text}
```

that generates the footnote number in the margin and the footnote text at the bottom of the page of the LaTeX document.

In some cases, for example when reviewing scientific articles, it is convenient to place footnotes in the margin of a LaTeX document. For this, we create a new command `\ntm` in the preamble of the document:

```
\newcommand\ntm[1]{%  
\unskip~\marginpar{\hspace{0pt}\raggedright\small\itshape#1}%  
[\rightarrow$]}
```

Then we call this command in the body of the document:

```
Some text \ntm{footnote text in the margin}
```

that generates the footnote text in the margin.

3. Conclusions

In this paper, we created macros in order to improve adding references to everything that can be numbered and to improve adding different types of footnotes in LaTeX documents. These macros expand the capabilities of LaTeX.

References

1. Hubal H.M. Mathematical texts and figures in the LaTeX system / H.M. Hubal // Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. – 2018. – No. 32. – P. 90-94 [in Ukrainian].
2. Hubal H.M. Interactive mathematical tests in the LaTeX system / H.M. Hubal // II International Conference “Innovative technologies in science and education. European experience” (Helsinki, Finland, November 12-15 2018): proceedings. – Dnieper-Helsinki, 2018. – P. 96-101.
3. Hubal H.M. Some capabilities of the LaTeX system when creating specialized texts / H.M. Hubal // III International Conference “Innovative technologies in science and education. European experience” (Amsterdam, Netherlands, University UvA, November 12-14, 2019): proceedings. – Dnieper-Amsterdam, 2019. – P. 198-201.
4. Hubal H.M. LaTeX multi-line formulas / H.M. Hubal // XIX International Scientific and Practical Conference “Scientific Bases of Solving of the Modern Tasks” (Frankfurt am Main, Germany, June 01-02, 2020): abstracts – Frankfurt am Main, 2020. – P. 38-40 / ISBN 978-1-64871-425-2.
5. Ochsner M. Advanced LaTeX in Academia: applications in research and education / M. Ochsner, A. Ochsner. – Springer, 2022. – 352 p.

Diatoms Shells as Strengthening Elements of Composite Materials

Kurzydowski Krzysztof Jan¹, Imbirovich Nataliya²,
Povstyanoy Oleksandr², Dobosz Romuald³

¹Bialystok University of Technology, 45c Wiejska str., Bialystok, 15-351, Poland

²Lutsk National Technical University, 75, Lvivska str., Lutsk, 43018, Ukraine

³Warsaw University of Technology, 141 Woloska str., Warszawa, 02-507, Poland
k.kurzydowski@pb.edu.pl

Over last decades diatoms shells, so called frustules, attracted a lot of attention of materials scientists because of their unique architecture and properties. These shells, built with bio-silica synthesized by diatoms, might have size ranging from a few to hundreds of microns.

The shells have regular overall shape and can be viewed as naturally grown zeolites. When added to polymers and/or metals they reduce specific density of composites. However, for achieving high mechanical properties, it is essential that diatom shells are well bonded to the metal/polymer matrix.

Bonding of bio-silica to polymer/metal matrix in general is relatively weak. However, the unique feature of diatom shells is system of openings forming characteristic regular patterns species specific. These openings, of submicron diameter, provide mechanical interlocking between shells and the matrix which allows for fabrication of high strength composites.

The work presented was focused on empirical and numerical investigations of the interlocking of diatom shells with metal/polymer matrices. PLA, Al, Mg and Ti composites with diatom earth were investigated. Finite Element Modelling was carried out to explain properties of fabricated composites. Results have been used to select most promising types of diatoms for modification of given polymeric or metallic matrix.

Development of Economic Criteria to Provide the Functionally-Oriented Technologies

Kusyi Yaroslav ^{1[0000-0001-5741-486X]}, Kostiuk Olha ^{1[0000-0002-3499-2787]},
Cocca Paola ^{2[0000-0002-6351-6042]}, Attanasio Aldo ^{2[0000-0002-5306-8936]}

¹Lviv Polytechnic National University, 12, Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine

²University of Brescia, Via Branze, 38, Brescia, 25121, Italy

jarkym@ukr.net

Abstract. The comprehensive recovery of industrial production in Europe and in the world requires the introduction of effective manufacture and repair technologies at mechanical engineering enterprises. The priority task is the technological support of the product's life cycle in accordance with the conditions of its operation in terms of Industry 4.0. Sustainability machining of mechanical engineering parts includes analysing the relationships of economic, social, and environmental dimensions for the technological provision of products quality parameters. The environmental direction has increased its role in the sustainable machining of mechanical engineering parts due to minimizing the consumption of cutting fluids, rational use of different industrial energy in productive processes, recycling chips and cutting tools etc. The development of economic criteria to provide the requirements of sustainable manufacture and machining is no less important than researching their compliance with environmental standards. The technique to solve optimization tasks using the methodology of Markov's chains is suggested to optimization of cutting modes during parts manufacture.

Keywords: Industry 4.0, Sustainable Machining, Functionally-Oriented Technology.

1. Current state of the problem

The comprehensive investigations of the relationships in technological, economic, social, and environmental dimensions during products manufacture in accordance the principle of functionally-oriented technologies are very important due to the Industry 4.0 requirements and sustainable machining concepts [1].

The development of functionally-oriented technologies is closely related to the provision of the necessary operational characteristics and reliability indicators in accordance with the operating conditions of the machines [2].

The environmental direction has increased its significance in the sustainable machining of mechanical engineering parts. The main problems in this field are

closely related to minimizing the consumption of cutting fluids; recycling chips and cutting tools; rational use of different types of industrial energy in productive processes, etc. [1, 2].

At the same time, the economic direction in sustainable manufacture is no less important than the ecological one, but it requires research in accordance to functionally-oriented technologies.

2. Research Methodology

The minimum machining time $T_{mach.}$ as important element of piece time $T_{p.i.}$ for object-oriented technologies on a defined technological operation is the target function of the optimization task and a function of the synthesized parameters [3]:

$$T_{mach.}(t, S, n, V_{cut.}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

where $t, S, n, V_{cut.}$ are elements of cutting modes: cutting depth, feed rate, rotary speed, and cutting speed, respectively.

The limit value of the machining time for certain technological steps (technological operations, etc.) is calculated during the design and technological preparation of part production in accordance with the specified reliability parameters (including dependability or durability) and the laws of their distribution [1, 3].

The maximum machining time in the specified technological operation or certain technological step during mechanical engineering part manufacturing for functionally-oriented technologies is the target function of the optimization task for the choice of its rational parameters [3]:

$$T_{mach.}(t, S, n, V_{cut.}) \rightarrow \max. \quad (2)$$

The relevant conditions serve the optimization criteria for a constant estimated cutting length during certain machining by specified metal-cutting tool in the certain technological step (the estimated cutting length during certain machining by specified metal-cutting tool on the certain technological step $L_{mach.st.} = \text{const}$) [3]:

$$S_0 \geq [S_0] \text{ or } S_{min} \geq [S_{min}], n \geq [n], V_{cut.} \geq [V_{cut.}], \quad (3)$$

where S_0, S_{min} are values of elements of cutting modes: feed per spindle revolution and feed per minute, respectively; $[S_0], [S_{min}], [n], [V_{cut.}]$ are the limit values of feed per spindle revolution, feed per minute, rotary speed, and cutting speed for a particular machining by cutting and provision the regulated accuracy, quality of the microrelief for functional surfaces of the workpieces, and their reliability indicators.

For the first time the mathematical apparatus of Markov chains has successfully been implemented to develop mathematical models for prediction of

the influence of the elements of the technological system to ensure the regulated parameters of quality of mechanical engineering parts [3].

3. Conclusions

The technique of optimization of cutting modes during parts machining according to the economic criteria and using Markov chains is suggested. The target function serves the maximum machining time at a specified technological operation or certain technological step during part manufacturing determined in accordance with regulated reliability indicators, for example, gamma-percentile operating times to failure as a main parameter of dependability.

The basis of the developed technique is taking into account the interrelationships in the technological system: metal-cutting machine – clamping device – metal-cutting tool (s) – workpiece during machining using prediction of reaching the limit state for the elements of the technological media: metal-cutting machine – clamping device – metal-cutting tool (s) by means of Markov chains and their description by the system of Kolmogorov-Chapman differential equations.

References

1. Davim J. P. *Surface Integrity in Machining* / J. Paulo Davim. – London, Springer-Verlag, 2010. – 215 p.
2. Klocke F. *Manufacturing Processes: Cutting* / Fritz Klocke. – Berlin, Springer-Verlag, 2011. – 504 p.
3. Kusyi Ya. Optimization synthesis of technological parameters during manufacturing of the parts / Ya Kusyi, V. Stupnytskyy, O. Onysko, E. Dragašius, S. Baskutis, R. Chatys // *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. – 2022. – 24(4). – Pp. 655-667.

Electrical Conductivity of the LDPE-Cu Composite with Different Types of Filler Distribution

Misiura Andrii ^{1,2}, Mamunya Yevgen ², Kulish Mykola ¹, Pylypenko Andrii ²

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Physics,
4, Prospekt Hlushkova, Kyiv, 03022, Ukraine

²Institute of Macromolecular Chemistry of NAS of Ukraine,
48, Kharkivske shausse, Kyiv, 02160, Ukraine
andrii_misiura@ukr.net

Abstract. The electrical conductivity of polymer composites based on low-density polyethylene (LDPE) filled with dispersed copper were investigated. Composites were prepared by two different methods to obtain random and segregated types of filler distribution in the polymer matrix. The composite with a segregated structure was studied in an ultra-wide range of copper concentrations from pure LDPE to 100 vol. % of Cu filler. Composites with high Cu concentrations were formed in segregated systems, while for the composite with random filler distribution, a sample with a maximum copper content of 30 vol.% was obtained due to processing restrictions. It is shown that the concentration dependence of the electrical conductivity of both composites exhibits a percolation behavior. Using this theory, the parameters of the percolation equation were determined and the values of the percolation threshold (φ_c) were found. The composite with the random filler structure has a value of $\varphi_c = 23\text{vol.}\%$ while the composite with segregated structure has a value of $\varphi_c = 3.3 \text{ vol. } \%$.

Keywords: Polymer composites, Dispersed copper, Electrical conductivity, Segregated structure.

1. Introduction

Polymer composites are one of the most common types of structural materials used in a wide range of industries. Metal-filled polymer composites occupy a special place because they combine the properties of metals and polymers, such materials are electrically conductive, and have increased thermal conductivity and mechanical characteristics while maintaining processing parameters similar to polymers.

The introduction of a metal filler into the polymer matrix leads to the conductivity of the polymer composite, however, this requires a fairly high filler concentration that has a negative effect on the mechanical properties of a material and its processing parameters. Therefore, special attention should be paid to ways

to reduce the amount of metal filler in the polymer while maintaining the electrical properties. One way is to form an ordered distribution of the filler in the matrix.

2. Materials and methods

Low-density polyethylene (LDPE) with a melting temperature (T_m) of 115 °C and density 0.92 g/cm³ and an average particle size $D = 200 \mu\text{m}$ was chosen as the polymer matrix. Dispersed electrolytical copper (Cu) with the average size $d = 25\text{--}60 \mu\text{m}$, $\rho = 8.96 \text{ g/cm}^3$, was chosen as the metal filler.

Polymer composites based on LDPE filled with dispersed copper with a random type of filler distribution were prepared using a single screw laboratory extruder, where the filler particles are distributed randomly in the polymer melt. The strands were crushed to a size of 0.5-1.5 mm and then pressed in a closed metal mold at a temperature of 130 °C and a pressure of 30 MPa. All samples were in the form of discs with a diameter of 30 mm and a thickness of ~2 mm.

For composites with a segregated type of filler distribution, the mixture of polymer and metal powders was thoroughly mixed mechanically and pressed in a steel mold at 120 °C and 30 MPa. Since $D > d$, then in the process of mechanical mixing smaller filler particles cover larger polymer particles forming a framework (segregated) structure of the conductive phase in the polymer matrix.

3. Results and discussion

The experimental values of the electrical conductivity (σ , S/cm) of the composites were calculated using equation:

$$\sigma = \frac{h}{RS} \quad (1)$$

where R is the sample resistance (Ohm) obtained using teraohmmeter E6-13A, h is the sample thickness (cm), and S is the sample area (cm²) in contact with the electrodes.

The concentration dependence of the electrical conductivity of the LDPE-Cu composite with random and segregated filler distribution is shown in Fig. 1. The equation of the percolation theory describes the dependence of the electrical conductivity σ in the concentration interval $\varphi > \varphi_c$:

$$\sigma = \sigma_0(\varphi - \varphi_c)^t \quad (2)$$

where σ_0 is the parameter that determines the conductivity of the dispersed filler; φ is the concentration of the filler in the composite; φ_c is the value of the percolation threshold; t is the critical index.

The composite with a random type of filler distribution is characterized by a percolation threshold value of 23 vol.% copper filler. Such high value is due to the fact that the filler is distributed randomly throughout whole the polymer matrix. As a result of the extrusion process the copper particles are covered with a polymer layer that prevents direct contact between the particles, so a larger amount of filler

is required to form a conductive chains. In this case, the value of φ_c is equal to 23 vol.%, and by the extrusion method it is possible to obtain the maximum filler content $\varphi=30$ vol.% (Fig.1, line 1) due to an increase in the viscosity of the composite melt. The composite with segregated filler distribution is characterized by a significantly lower value of the percolation threshold, $\varphi_c = 3.3$ vol% (Fig.1, line 2). The substantial decrease in the value of φ_c is due to the fact that the filler forms a segregated structure and its local concentration φ_{loc} in the wall of framework is much higher than the average concentration calculated on the entire volume of the composite. The local concentration determines the value of percolation threshold and the conductivity of a composite with a segregated structure.

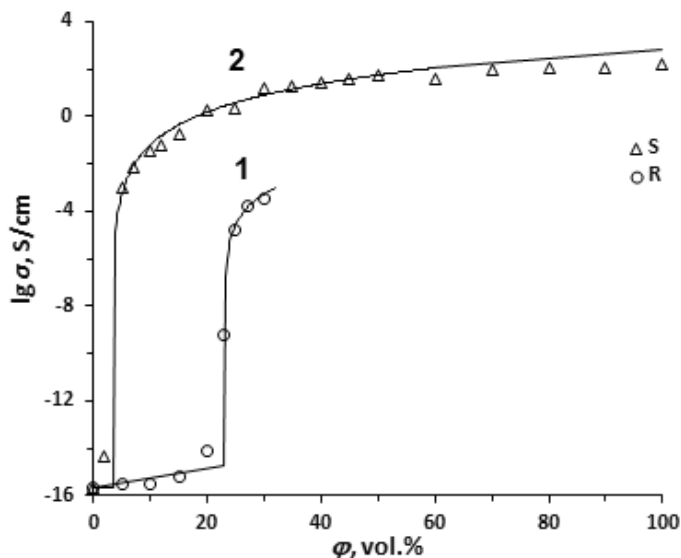


Fig. 1. Concentration dependence of electrical conductivity: points - experimental values, lines - calculated curves according to the percolation equation for a composite with a random (1) and segregated (2) type of filler distribution.

It can also be seen from Fig. 1 that at the same value of copper concentration of 30 vol.% for the filler random distribution the conductivity $\sigma = 3.3 \cdot 10^{-3}$ S/cm, while for composites with the segregated filler distribution $\sigma = 1.6 \cdot 10^1$ S/cm. These results can be explained by the fact that in a segregated system, a larger number of filler particles are in direct contact with each other in the wall of framework while in the case of a random distribution, the conductivity is limited by the presence of a polymer layer on the surface of the metal particles, which prevents contacts between them and reduces the number of conductive chains.

The value of the packing factor $F=V_f/(V_f+V_s)$ for copper powder particles (which corresponds to the limit of filling the polymer matrix with this filler) is $F=36$ vol.% (where V_f is the volume of filler particles, V_s is the volume of space between them occupied by the polymer). When the degree of filling is exceeded by more than F ($\varphi>F$) according to the formal calculation, the content of the filler in the composite remains constant (the volume V_f is constant, the real value $\varphi=F$), however, the volume V_s between particles is only partially filled with polymer. The more formal calculation of φ exceeds F , the less polymer remains in the space between the filler particles. In the limit, at $\varphi=100$ vol.%, there is no polymer, and the volume V_f contains 36 vol.% of the filler particles, while the volume V_s between particles is occupied by air. Thus, it follows from this model that the constancy of the filler content at $\varphi > F$ should lead to a constant conductivity value.

However, the conductivity value slightly increases in the region $\varphi > 36$ vol.%, so for $\varphi=36$ vol.% of Cu, the conductivity value is $\sigma=1.8 \cdot 10^1$ S/cm, while for $\varphi=100$ vol.% of Cu $\sigma=1.5 \cdot 10^2$ S/cm. This effect can be explained by a decrease in the part of polymer in the interparticle volume V_s , that facilitates the contacts of copper particles with each other during pressing.

Thus, the segregated distribution of the filler in the polymer matrix greatly reduces the percolation threshold for the copper filler, which makes it possible to obtain highly conductive metal-filled polymer composites with a low filler content.

Machining of the Tool-Joint Tapered Thread with Increased Wear Resistance

Onysko Oleh ^[0000-0002-6543-9554], Matei Iurii, Havryliuk Ivan

National Technical University of Oil and Gas,
15, Karpatska St., Ivano-Frankivsk, 761019, Ukraine
onysko.oleg@gmail.com

Abstract. The tapered screw threads are obligatory parts of the drill string and serve to screw its parts together. There are connectors of the small diameters among them that are made in a specific profile of form V-0,05. Thanks to the previous research it was found that the tightness of the drill string can be greatly increased by the use of upgraded tools, which allow to increase the height of the thread profile. In this paper, the authors conducted an analytical study showing the dependence on the contact pressures between the thread surfaces of the two parts of the connector - the box and the pin. Studies have shown that in the screwed state, due to an increase of the height of the thread profile up to 13%, it is possible to reduce the contact pressure between the thread surfaces of the box and the pin for 40-56%, depending on the diameter of the cut. This in turn increases the durability of the tapered thread and its tightness.

Keywords: Drill String, Back Rake Angle, Tool-joint Tapered Thread, Pitch Diameter, Lathe Tool.

1. Small Diameter Drill-String Tool-joints. Methodology of Research

The drill string consists of a large number of elements that are connected to each other by means of a tapered screw thread. The tapered threads must provide the following performance indicators:

1. Quick screwing and unscrewing in the process of lowering and lifting operations of the drill string;
2. Required tightness;
3. Wear resistance during repeated screwing-unscrewing.

According to theoretical data [1] there is a functional dependence of the area of mutual contact between the surface of the pin and the box F_k in the process of screwing them for a certain number of revolutions m , on the value of the working height of the thread profile h :

$$F_k = \frac{\pi n}{4 \cos \alpha} \left[(d_1 - 2h + KP_1 \cdot m)^2 - (d_1 - KL)^2 \right], (\text{mm}^2),$$

Where:

α – is the angle of the thread profile (30°).

d_l – the largest outer diameter of the nipple cut on the large base of the cone;

$K = 2 \operatorname{tg} \varphi$ – is the taper of the thread.

L – is the length of the conical section;

P_l – the pitch between the larger sides of the thread;

2. Result of research

The contact pressure between the larger sides of the threads of the drill-string tapered thread in the process of screwing the nipple into the coupling is directly proportional to the value of the working height, which is formed in the process of tapping, as is shown in Figure 1.

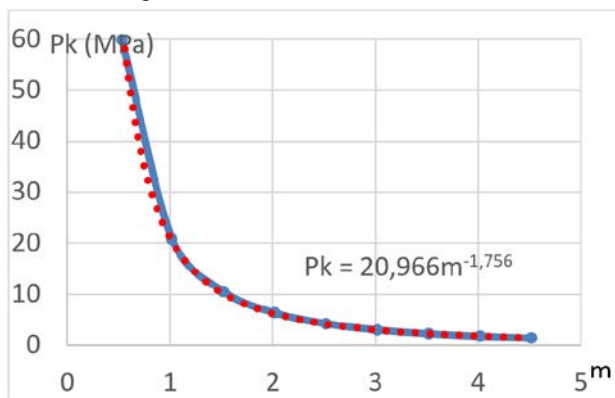


Fig. 1. Dependence of the contact pressure between the side surfaces of the box and the pin on the number of revolutions m in the process of screwing the NC-10 thread (load of 100 kg, working height $h=1,342$ mm.)

At the moment of the beginning of screwing, the contact pressure has its maximum value, which can reach 60 MPa, depending on the degree of screwing and the number of turns l

References

1. Onysko O.R. The theoretical foundations of the threading tool bits designing for lathe machining of the drill string tool-joint connectors with the increased operating characteristics. [Tekst]: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.03.01 / – Ivano-Frankivsk, 2020. – 381 p. – Byblyohr.: p. 232-381.

Optical, Electrical Properties and Structure of Undoped and M₂O₃ (M=Fe, Al)-doped Multilayer Indium Saving Indium Tin Oxide Thin Films

Petrovska Svitlana ¹, Sergiienko Ruslan ², Ilkiv Bogdan ¹,
Takashi Nakamura ³, Makoto Ohtsuka ³

¹ National Academy of Science of Ukraine Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, 3 Krzhyzhanovsky Str., Kyiv, 03142, Ukraine

² National Academy of Science of Ukraine, Physico-Technological Institute of Metals and Alloys, 34/1 Vernadsky Ave., Kyiv, 03142, Ukraine

³ Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (IMRAM), Tohoku University, Sendai, 980-8577, Japan

sw.piotrowska@gmail.com, makoto.ohtsuka.d7@tohoku.ac.jp

Abstract. Multilayer undoped and M₂O₃ (M=Fe, Al)-doped indium-saving indium-tin oxide thin films with low volume resistivity and high transmittance in the visible spectrum have been fabricated by sputtering method. Structures consisting of very thin layer of conventional indium tin oxide (90 mass % In₂O₃ - 10 mass % SnO₂) and undoped or M₂O₃ (M=Fe, Al) indium-saving indium-tin oxide layer with reduced to 50 mass % In₂O₃ content are discussed. By optimizing oxygen flow rate in indium-saving indium-tin oxide layer, the lowest volume resistivity of 281 μΩcm (mobility of 28 cm²/V·s, carrier concentration of 5.32×10²⁰ cm⁻³) and the highest transmittance in the visible range (98.3 %) were obtained for undoped multilayer thin films sputtered at oxygen flow rate of 0.3 sccm. However multilayer iron- and aluminum-doped indium-saving indium-tin oxide thin films demonstrated the lowest volume resistivity of 378 μΩcm and 445 μΩcm, respectively at lower oxygen flow rate of 0.1 sccm and in pure argon. Doping by oxides increased transmittance of multilayer thin films. Multilayer undoped and M₂O₃ (M=Fe, Al)-doped indium-saving indium-tin oxide thin films are crystallized and show In₄Sn₃O₁₂ structure.

Keywords: Indium Saving Indium-Tin Oxide, Electrical Properties, Optical properties.

1. Introduction

Indium tin oxide (ITO) thin films are widely used in various applications such as semiconducting window electrodes for solar cells, transparent conducting electrodes for panel displays and optical solar reflectors. However, disadvantage of using conventional ITO (90 mass % In₂O₃ and 10 mass % SnO₂, ITO90) in such applications is its high cost. Therefore, it is necessary to find a material that is

more

cost effective, has better or maintains properties of conventional ITO. One of the ways to achieve this aim is to sputter indium saving multilayer (ML) ITO thin films.

2. Results and Discussion

Volume resistivity and transmittance of multilayer undoped and M_2O_3 (M=Fe, Al)-doped indium-saving indium-tin oxide thin films sputtered at optimal conditions are presented in Table 1.

Table 1. Volume resistivity and transmittance of multilayer indium-saving indium-tin oxide thin films sputtered at optimal conditions

Sample	$Q(O_2)$, sccm	Volume resistivity, $\mu\Omega\text{cm}$	Transmittance at $\lambda=550\text{ nm}$, %
ITO90/ITO50	0.3	281	98.3
ITO90/ITO50:Fe ₂ O ₃	0.1	378	97.7
ITO90/ITO50:Al ₂ O ₃	0	445	90.4

Mobility and carrier density of multilayer indium-saving indium-tin oxide thin films sputtered at optimal conditions are listed in Table 2.

Table 2. Mobility and carrier density of multilayer indium-saving indium-tin oxide thin films sputtered at optimal conditions

Sample	$Q(O_2)$, sccm	Mobility, $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	Carrier density, cm^{-3}
ITO90/ITO50	0.3	28.0	5.32×10^{20}
ITO90/ITO50:Fe ₂ O ₃	0.1	29.8	4.60×10^{20}
ITO90/ITO50:Al ₂ O ₃	0	26.0	5.60×10^{20}

Multilayer undoped and M_2O_3 (M=Fe, Al)-doped indium-saving indium-tin oxide thin films are crystallized and show $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_{12}$ structure.

Research of the Properties of Highly Efficient Titanium Porous Materials from Waste of Biomedical Production

Povstyanoy Oleksandr¹[0000-0002-1416-225X], Imbirovich Nataliya¹[0000-0001-8276-6349],
Rusakov Denis²[0009-0004-9603-2302]

¹Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lusk, 43018, Ukraine

²Kovel Industrial and Economic Professional College,

23, Zavodska St., Kovel, 45000, Ukraine

povstjanoj@ukr.net

Abstract. Titanium is characterized by an interesting combination of such properties as high strength, low density, corrosion resistance and biocompatibility. Although the widespread use of titanium at the industrial level has not yet been achieved due to the high costs of its extraction and production. Therefore, titanium is increasingly used in sectors with high demands, such as the aerospace industry or the production of biomedical devices, where the final high cost is not a major factor.

It is believed that the processing of titanium and its alloys using powder metallurgy methods is a significant way to reduce the cost of manufacturing titanium products, and also provides the opportunity to develop new alloys that are difficult to obtain using traditional technologies.

This work is devoted to the processing of titanium powder from biomedical production waste using various PM methods and is aimed at researching the processing of almost pure, chemically homogeneous and fine-grained titanium-based components.

Keywords: Titanium, Porous materials, Isostatic pressing, Self-propagating High-temperature Synthesis, Hardness, Microstructure.

Titanium is a relatively new engineering material compared to other structural metals such as steel and aluminum, as its industrial use only began in the last century. It is an extraordinary metallic element that has many defining characteristics, such as a high melting point (1675°C), relatively low density (4.5 g/cm³), high strength, and good fracture resistance.

Titanium and its alloys are very important industrial metal, they are widely used in aerospace, energy, nuclear industry, food industry, chemical and biomedical engineering, etc. [1]. However, titanium porous materials (PM) consists of titanium metal and pores, which is why it not only inherits the inherent characteristics of metal, but also provides a number of operational characteristics (filtering, sound absorption, thermal insulation, etc.) [2].

Therefore, titanium PM is used in the chemical industry due to its resistance to corrosion and filtering properties.

In recent years, many scientists have conducted many studies using titanium powders as raw materials for obtaining various types of products and ways of processing them using various methods of powder metallurgy, such as: pressing and sintering, isostatic pressing and uniaxial hot pressing.

The raw material was selected for the study - MEDGAL[®] biomedical engineering waste (Fig. 1). This is pure titanium (99%), waste after processing titanium orthopedic prostheses.



Fig. 1. Titanium waste of biomedical engineering MEDGAL[®]

The technological scheme of biomedical industry waste processing consisted of two stages – grinding and restorative annealing [3].

The properties of porous materials based on titanium carbide are significantly superior to those of porous materials based on pure titanium, obtained in the SHS-burning mode [4]. Porous materials based on $TiC_{0.5}$ have high chemical resistance.

The creation of a 3D image environment is carried out by superimposing flat cross-sections of the appropriate height range of the finished porous powder material (Fig. 2).

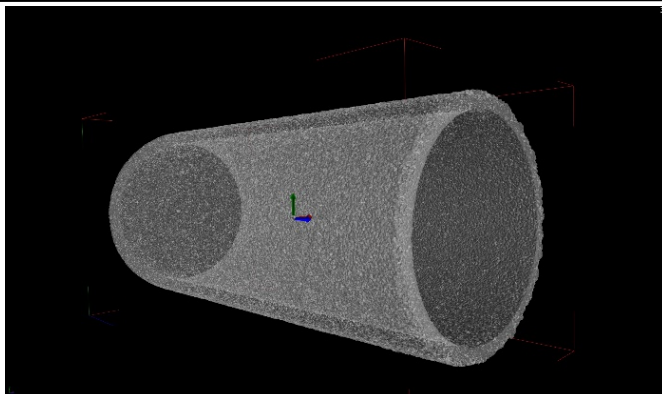


Fig. 2. Visualization of the received image of the cross section of the titanium PPM

Metallographic images of PM grindings are represented by a combination of various structural components. The combination of these structural components (planar and spatial) for PPM are presented in Fig. 3.

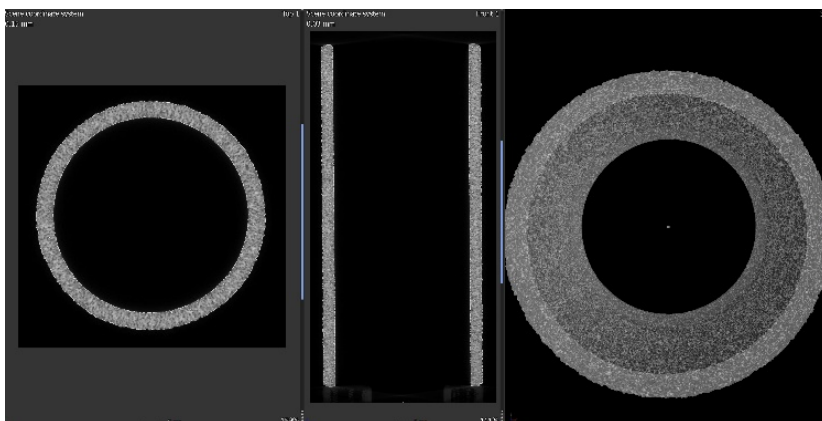


Fig. 3. Determination and analysis of structural components of PPM in 3D image format

Images were first binarized using an automated sequence consisting of image denoising, filtering, and thresholding [5]. The images were then stitched together to give a representation of the 3D structure of the PPM monolith (**Fig.4**).

The studied PPM sample consists of a solid metal structure (monolithic skeleton; opaque) with a porosity of ~69% (interstitial voids, shaded).

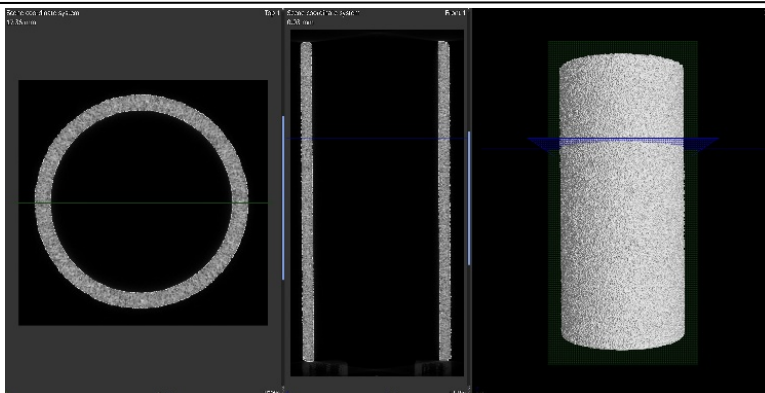


Fig. 4. 3D image of the reconstructed volume of the cylindrical sample of PPM

Porosity can be determined from the number of black pixels that represent hollow space divided by the total number of pixels in the PM structure. The advantage of the image reconstruction approach is its ability to produce spatial tortuous porosity [6, 7]. This makes it possible to study the distributions of radial and axial porosity, namely, perpendicular and parallel to the axis of the cylindrically confined PM monolith.

References

1. Jung, Jae-Hyun (2017). Study on surface shape control of pure Ti fabricated by electron beam melting using electrolytic polishing. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 324, pp. 106-110.
2. Wang, Jianzhong (2023). Energy absorption characteristics and preparation of porous titanium with high porosity. *Materials Today Communications*, Vol. 34, pp. 54-60.
3. Povstyanoy O., Sychuk V., Makmyllan A., Rud V., Zabolotnyy O. (2015). Metallographic analysis and processing of images of microstructure of nozzles for sandblasting which are made by powder metallurgy, *Powder metallurgy*, Vol.3 (4), pp. 234-240.
4. Rud V.D., Imbirovych N.Y. Halchuk T.N. Chetverzhuk T.I., Smal M.V., Dziubynskyi A.V. (2021.) Optimization of the Properties of Multilayer Porous Permeable Materials. *Mater Sci*, Vol. 56, pp. 530-535.
5. ZHANG, Erlin, Xiaoyan WANG, Yong HAN. (2017). Research status of biomedical porous Ti and its alloy in China. *Acta Metall Sin*, Vol. 53(12), pp. 1555-1567.
6. Liu Z., Ji, F. Wang M., & Zhu, T. (2017) One-dimensional constitutive model for porous titanium alloy at various strain rates and temperatures. *Metals*, Vol. 7(1), pp. 24-30.
7. Bewerse C., Emery A.A., Brinson L.C., & Dunand D. C. (2015) NiTi porous structure with 3D interconnected microchannels using steel wire spaceholders. *Materials Science and Engineering*, Vol. 634, pp. 153-160.

Pipe Robot with Self-stopping Mechanism

Ragulskis K. ¹, Pauliukas A. ², Paškevičius P. ³, Maskeliūnas R. ⁴, Ragulskis L. ⁵

¹ Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

² Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas District, Lithuania

³ Company «Vaivora», Kaunas, Lithuania

⁴ Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania

⁵ Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania

Abstract. Pipe robots are used in agricultural engineering for transportation of various materials inside the pipe as well as for cleaning of internal surfaces of the pipes. Model of a pipe robot with self-stopping mechanism is proposed and described in detail. Numerical investigations are performed, and the obtained results are presented in the form of graphical relationships. Variations of displacements as well as variations of velocities of the exciting mass and of the case of the pipe robot as functions of time are investigated. Results for steady state regime of motion are obtained. Results for three typical values of the constant force are obtained: first the results when the constant force is assumed equal to zero and then the results for the two typical nonzero values of the constant force are obtained. From the obtained graphical representations, the influence of the value of the constant force to the dynamic behavior of the pipe robot can be seen. The obtained graphical representations enable to understand the behavior of the investigated pipe robot with self-stopping mechanism.

Keywords: pipe robot, self-stopping mechanism, harmonic excitation, steady state motions, parameters of the system.

1. Introduction

Pipe robots are used for transportation of various materials inside the pipe as well as for cleaning of the internal surfaces of the pipes. A model of a pipe robot with self-stopping mechanism is proposed and described in detail.

Implementation of a pipe robot is presented in [1]. Pipe robot with impact interactions is analyzed in [2]. Pneumatic exciters of vibrations are investigated in [3]. Dynamics of a pipe robot is analyzed in [4]. Vibrations of elements of manipulators and robots are investigated in [5].

A number of graphical relationships determining the motion of a pipe robot are obtained.

2. Model of the pipe robot with self-stopping mechanism

The exciter of vibrations is located inside the case of a pipe robot, and they are mutually interconnected by a spring and a damper. The case of a pipe robot interacts with the walls of the pipe by a self-stopping mechanism, which allows the motion of the case of the pipe robot in one direction and does not allow the motion of the pipe robot in the opposite direction.

Dynamics of the system when the self-stopping mechanism allows the motion of the pipe robot is described by the following equations:

$$m_1\ddot{x}_1 + H(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C(x_1 - x_2) = F_1, \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + H(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + C(x_2 - x_1) = F_2, \quad (2)$$

where x_1 is the displacement of the pipe robot, x_2 is the displacement of the exciter of vibrations, m_1 is the mass of the case of the pipe robot, H is the coefficient of viscous friction between the exciter of vibrations and the case of the pipe robot, C is the coefficient of stiffness between the exciter of vibrations and the case of the pipe robot, F_1 is the force of resistance to the motion of the pipe robot, m_2 is the mass of the exciter of vibrations, F_2 is the exciting force of the exciter of vibrations and the upper dot denotes differentiation with respect to the time.

It is assumed that the force of resistance to the motion of the pipe robot has the following form:

$$F_1 = A - B\dot{x}_1, \quad (3)$$

where A and B are constants. It is assumed that the exciting force of the exciter of vibrations has the following form:

$$F_2 = f \sin \omega t, \quad (4)$$

where f is the amplitude of excitation, ω is the frequency of excitation and t is the time variable. Thus, the equations of motion of the investigated system have the following form:

$$m_1\ddot{x}_1 + B\dot{x}_1 + H(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C(x_1 - x_2) = A, \quad (5)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + H(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + C(x_2 - x_1) = f \sin \omega t. \quad (6)$$

This regime of motion takes place until $\dot{x}_1 = 0$.

When the self-stopping mechanism does not allow the motion of the pipe robot it is assumed that $\dot{x}_1 = 0$. Dynamics of the exciter of vibrations is described by the following equation:

$$m_2\ddot{x}_2 + H\dot{x}_2 + Cx_2 = f \sin \omega t + Cx_1. \quad (7)$$

Also, the following force is calculated:

$$P = A + H\dot{x}_2 - C(x_1 - x_2). \quad (8)$$

This regime of motion takes place until $P = 0$.

3. Conclusions

Displacement of the first degree of freedom, velocity of the first degree of freedom, displacement of the second degree of freedom, velocity of the second degree of freedom as functions of time in the steady state regime of motion are investigated. Also, difference of displacements as well as difference of velocities as functions of time in the steady state regime of motion are obtained.

Results for three typical values of the constant force are obtained: first the results when the constant force is assumed equal to zero and then the results for the two typical nonzero values of the constant force. From the obtained graphical representations, the influence of the value of the constant force to the dynamic behavior of the pipe robot can be seen.

The obtained graphical representations enable to understand the behavior of the investigated pipe robot with self-stopping mechanism.

References

1. Spruogis, B., Ragulskis, K., Bogdevičius, M., Ragulskis, M., Matuliauskas, A., Mištinas, V.: Robot performing stepping motion inside the pipe. Patent LT 4968 B, (2002).
2. Ragulskis, K., Spruogis, B., Paškevičius, P., Matuliauskas, A., Mištinas, V., Pauliukas, A., Ragulskis, L.: Investigation of dynamics of a pipe robot experiencing impact interactions. *Advances in Robotics & Automation Technology* 1(2), 1-8 (2021).
3. Kibirktis, E., Pauliukaitis, D., Miliūnas, V., Ragulskis, K.: Synchronization of pneumatic vibroexciters operating on air cushion with feeding pulsatile pressure under autovibration regime. *Journal of Mechanical Science and Technology* 32(1), 81-89 (2018).
4. Ragulskis, K., Spruogis, B., Bogdevičius, M., Pauliukas, A., Matuliauskas, A., Mištinas, V., Ragulskis, L.: Investigation of dynamics of a pipe robot with vibrational drive and unsymmetric with respect to the direction of velocity of motion dissipative forces. *Agricultural Engineering* 52, 1-6 (2020).
5. Ragulskis, K., Spruogis, B., Pauliukas, A., Paškevičius, P., Matuliauskas, A., Mištinas, V., Murovanyi, I., Ragulskis, L.: Investigation of dynamics of manipulators and robots, the motion of which is excited by an external variable force through mutual impacts of their separate elements. *Agricultural Engineering* 53, 55-62 (2021).

Two-Sided Soft Impacts

Ragulskis K. ¹, Pauliukas A. ², Paškevičius P. ³, Maskeliūnas R. ⁴, Ragulskis L. ⁵

¹Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

²Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas District, Lithuania

³Company «Vaivora», Kaunas, Lithuania

⁴Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania

⁵Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania

Abstract. In various engineering devices used in robotics, transport and agricultural engineering two-sided impacts take place. Model of the investigated vibrating system with two-sided soft impacts is described in detail. Dynamics of the investigated system with two-sided soft impacts takes place according to the three typical regimes of motion: vibrating system is not connected with the supports, vibrating system is connected with the first support, vibrating system is connected with the second support. Investigation of steady state regimes of motion for various stiffnesses of the supports is performed. The obtained graphical representations enable to understand the behavior of the investigated vibrating system with two-sided soft impacts in steady state regimes of motion for various stiffnesses of the supports. The obtained results of the performed investigation are applied in the process of design of pipe robots and other engineering devices.

Keywords: Two-sided Impacts, Soft Impacts, Harmonic Excitation, Nonlinear Dynamics, Left Support, Right Support.

1. Introduction

Two-sided soft impacts are investigated. Model of the system is described. Results of numerical investigations are obtained in the form of graphical relationships.

Ideal impacts are investigated in [1]. Special type of nonlinearity is analyzed in [2]. Theory of systems with impacts is presented in [3]. Impacts in transmissions are investigated in [4]. Manipulators and robots are investigated in [5].

2. Model of the system with two-sided soft impacts

Schematic representation of the investigated system with two-sided soft impacts is presented in Fig. 1. Dynamics of the investigated system with two-sided soft impacts takes place according to the three typical regimes of motion: vibrating system is not connected with the supports, vibrating system is connected with the first support, vibrating system is connected with the second support.

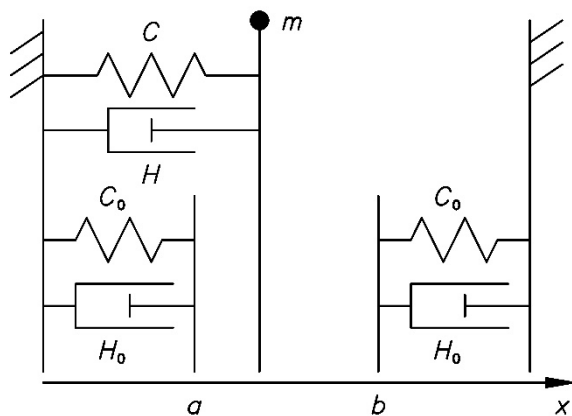


Fig. 1. Vibrating system with two-sided soft impacts: the vibrating mass m is attached to the immovable support by the spring with the coefficient of stiffness C and the damper with the coefficient of viscous damping H , the impacting surfaces are attached to the immovable supports by the springs with the coefficients of stiffness C_0 and the dampers with the coefficients of viscous damping H_0

Dynamics of the system with two-sided soft impacts when vibrating system is not connected with the supports is described by the equation:

$$\ddot{x} + h\dot{x} + cx = f \sin \omega t, \quad (1)$$

where x is the displacement, h is the coefficient of viscous damping, c is the coefficient of stiffness, f is the amplitude of excitation, ω is the frequency of excitation, t is the time variable, and the upper dot denotes differentiation with respect to it.

Dynamics of the left support is described by the equation:

$$h_0\dot{x}_1 + c_0x_1 = c_0a, \quad (2)$$

where x_1 is the displacement of the left support, h_0 is the coefficient of viscous damping of the supports, c_0 is the coefficient of stiffness of the supports, a is the position of the left support in the status of equilibrium.

Dynamics of the right support is described by the equation:

$$h_0\dot{x}_2 + c_0x_2 = c_0b, \quad (3)$$

where x_2 is the displacement of the right support, b is the position of the right support in the status of equilibrium.

This regime of motion takes place until $x = x_1$ or $x = x_2$.

Dynamics of the system with two-sided soft impacts when vibrating system is connected with the left support is described by the equation:

$$\ddot{x} + (h + h_0)\dot{x} + (c + c_0)x = f \sin \omega t + c_0 a. \quad (4)$$

Dynamics of the right support is described by the equation:

$$h_0 \dot{x}_2 + c_0 x_2 = c_0 b. \quad (5)$$

Also, the following force is calculated:

$$P = h_0 \dot{x}_1 + c_0 x_1 - c_0 a. \quad (6)$$

This regime of motion takes place until $P = 0$.

Dynamics of the system with two-sided soft impacts when vibrating system is connected with the right support is described in a similar way.

The following initial conditions are assumed in the performed investigation:

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0, x_1(0) = a, x_2(0) = b. \quad (7)$$

3. Conclusions

The obtained graphical representations enable to understand the behavior of the investigated vibrating system with two-sided soft impacts in steady state regimes of motion for various stiffnesses of the supports.

The obtained results are applied in the process of design of pipe robots and other engineering devices.

References

1. Ragulskis, K., Pauliukas, A., Bubulis, A., Paškevičius, P., Maskeliūnas, R., Ragulskis, L.: Investigation of dynamics of a system with two sided impacts. *Advances in Mechanical Engineering and Transport* 1(18), 24–30 (2022).
2. Ragulskis, K., Bubulis, A., Pauliukas, A., Paškevičius, P., Maskeliūnas, R., Ragulskis, L.: Unsymmetric dry friction for models of surface cleaning. *Advances in Mechanical Engineering and Transport* 1(14), 26–34 (2020).
3. Ragulskienė, V.: *Vibro-Shock Systems (Theory and Applications)*. Mintis, Vilnius (1974).
4. Kurila, R., Ragulskienė, V.: *Two – Dimensional Vibro – Transmissions*. Mokslas, Vilnius (1986).
5. Ragulskis, K., Bansevicius, R., Barauskas, R., Kulvietis, G.: *Vibromotors for Precision Microrobots*. Hemisphere, New York (1987).

The Digital Twin Model of the Spindle Unit

Sapon Serhii ¹[0000-0003-1082-6431], Klochko Oleksandr ²[0000-0003-2841-9455],
Ponomarenko Sergiy ¹[0009-0003-3260-6541], Dzyuba Dmytro ¹[0009-0001-8024-6558]

¹ Chernihiv Polytechnic National University, 95, Shevchenko St., Chernihiv, 14035, Ukraine

² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

2, Kyrpychova St., Kharkiv, 61002, Ukraine

s.sapon@gmail.com

Abstract. The spindle system of any machine tool directly and significantly influence on the efficiency of machining. The dynamic characteristics of the spindle unit during machining are almost impossible to visualize in real time with traditional methods. The use of a digital twin of the spindle unit allows to determine the actual dynamic characteristics with a sufficiently high degree of accuracy. The key component of the digital twin of the spindle unit is its model. It is a set of digital models that describe its design, technological, operational, parameters and physical and mechanical processes that occur during the operation of the spindle unit in real time. The structure, list of characteristics of the digital twin model of the intelligent spindle unit are determined. The stages of its model creation are given, the tasks to be solved at these stages are specified. Building a model of a digital twin of a spindle unit has a two-directional character and cannot be considered a fully completed process, since the model of a digital twin of a spindle unit will be constantly refined and updated until the spindle unit is out of service. High-precision modeling, model integration, model verification, model consistency, mechanisms of functioning and evolution of models - are key issues, that need to be solved when creating a model of a digital twin of a spindle unit.

Keywords: Digital Twin; Intelligent Spindle Unit; Model of a Digital Twin; Spindle.

The dynamic characteristics of the spindle unit directly affect almost all functioning efficiency indicators of the technological machining system. Obtaining the most reliable dynamic characteristics of the spindle unit during operation is an important task for implementing effective intelligent control systems of the machining processes. A promising way to solve this problem is to create digital twins of spindle units.

The concept of digital twins was first proposed by Michael Grieves and described in detail in his work [1]. The idea of creating and perspective of using digital twin of metal cutting machines is highlighted in works [2-4]. The definition of a digital twin of a spindle unit, as a physical object or system, is provided in the article [5]. The definition of the model of the digital twin of the spindle unit is also presented there.

It is proposed to use the tools of Model-Based Systems Engineering (MBSE) [6, 7] to create the model of the digital twin of the spindle unit. According to the MBSE, the

model of the digital twin of the spindle unit is an organized architecture of digital models that describe the design, technological, operational parameters of the spindle unit as well as physical and mechanical processes that occur during its operation and reflect the influence of these parameters on the quality and functioning efficiency indicators of the spindle unit in real-time. The digital twin model of the spindle unit also takes into account data on previous periods of operation and information that reflects individual design and technological features of the spindle unit formed during its manufacture.

For the most adequate description of the features of the spindle unit's functioning, its digital twin model should have the following main characteristics: functionality, uniqueness, multiphysics, multiscale, hierarchy, integrability, dynamicity, probability, hyperrealism, multidisciplinary, computational capabilities.

The components and stages of creating a digital twin model of the spindle unit according to the concept of MBSE are presented and described.

The first stage involves creating three-dimensional geometric CAD models of the spindle unit components, and in the first approximation, modeling the influence of operating processes and loads on the static and dynamic characteristics of the spindle unit in CAE systems. The main task of this stage is the initial rapid multi-physics, multi-scale interdisciplinary modeling and analysis of the spindle unit design without intension for high accuracy of process mapping.

The task of the second stage is to build an ordered architecture of digital multiphysics mathematical models that quantitatively describe the relationships between the parameters of the spindle unit and its quality and efficiency indicators. A specific list of mathematical models is determined by the functional requirements for the spindle unit in the form of a set of necessary and available indicators, which are needed and possible to control in a real spindle unit. At this stage a structured system of data exchange between the models describing the spindle unit functioning is created with the use of artificial intelligence tools.

At the next stage a preliminary check of the adequacy of the built architecture of the digital models of spindle unit is made. Evaluation is carried out on a priori information based on expert knowledge of the physics and mechanics of the processes that occur during the operation of the spindle unit. For this purpose, instead of connecting to the sensors that record the state of the real spindle unit, the created digital twin model is connected to a set of virtual sensors that generate signals similar to real processes.

The 4th stage involves the connection of the created digital twin model to the real spindle unit, adaptation and refinement of the model based on the experimental tests of spindle unit.

The final stage of the digital twin creating involves adaptation of the digital twin model to the design, technological and operational features of a specific spindle unit throughout its entire life cycle. The digital twin model is connected to the data collection, processing and transmission system, which commutates data from the sensors of the real spindle unit. Further, statistically processed data from the sensors of the real spindle unit is transferred online to the digital twin model, which, thanks to this, is updated and refined during the entire life cycle.

Thus, the construction of the digital twin model of the spindle unit has a two-way nature: from general to particular and from particular to general. The combination of these

two directions indicates that the construction of the digital twin model of the spindle unit cannot be considered a completely finished process, since the digital twin model will be constantly refined and updated until the operation of the spindle unit ends.

The following key issues must be considered in detail when creating a digital twin model of the spindle unit: high-precision modeling, integration of models, model verification, analysis of model consistency, mechanisms of model functioning and evolution.

The digital twin model of the spindle unit simulates all possible modes of operation of the spindle unit during its life cycle, takes into account the influence of external factors and control processes, allows to predict the resource state, quality indicators and efficiency of the spindle unit operation.

The implementation of the digital twin model also has a number of unsolved issues. First, the stochasticity, nonlinearity and partial uncertainty of the processes in the spindle unit make it challenging to ensure accuracy of the models that form the architecture of the digital twin model. The emergence of discrepancies between models and real objects and processes is difficult to track online. Therefore, the benefit of using models decreases. The second problem is that continuous physical space and discrete virtual space are at different scales. This creates the problem in overcoming the discrepancy in order to implement the integration of the real spindle unit and its digital model. In order to update the digital twin model throughout the life cycle of the spindle unit, the data from the spindle unit sensors and models must be generated continuously. As a result, the problem of integration and preservation of continuously growing volumes of data arises.

References

1. Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication / Grieves, M. // White paper – 2014. – №1. – pp. 1-7.
2. Fei Tao. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. / Fei Tao, Meng Zhang and A.Y.C. Nee. – Academic Press, London, United Kingdom, 2019. – 269 p.
3. X. Lai, A Review: Machine Tools Digital Twin Modeling And Application / X. Lai, Y. Zhou, L. Jiang and G. Ding // 26th International Conference on Automation and Computing (ICAC), Portsmouth, United Kingdom, 2021. – pp. 1-6
4. Armendia Mikel. Twin-Control: A Digital Twin Approach to Improve Machine Tools Lifecycle / Armendia Mikel, Ghassempouri Mani, Ozturk Erdem, Peysson, Flavien. – Springer Cham, 2019. – 298 p.
5. Sapon S. The concept of creating of a digital twin model of an intelligent spindle unit / Sapon S. // Technical Sciences and Technologies. – 2022. – № 4(30). – pp. 80-90.
6. Micouin P. Model-based systems engineering: Fundamentals and methods/ Patrice Micouin. – London: ISTE Ltd, 2014. – 272 p.
7. Wang, Yübo. Integration of model based system engineering into the digital twin concept / Wang Yübo, Steinbach Tanja, Klein Jonathan, Anderl Reiner. // Procedia CIRP. – 2021. – vol. 100. – pp. 19-24.

Mechanical Properties of Hydroxyapatite-based Biocomposites Modified by Magnetite and Chitosan

Synytsia Anna ¹[0000-0002-8390-1263], Sych Olena ^{1, 2}[0000-0002-8390-1263],
Yevich Yan ¹[0000-0001-8326-9651], Vedel Dmytro ¹[0000-0003-0755-7322],
Babutina Tetiana ¹[0000-0002-6927-2595], Kondratenko Iryna ¹

¹ Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, NAS of Ukraine,
3, Krzhyzhanovsky St., Kyiv, 03142, Ukraine
² Institute of High Pressure Physics «Unipress», PAS,
ul. Sokołowska 29/37, 01-142 Warsaw, Poland
synytsia.ann@gmail.com

Abstract. The work is devoted to the study of the mechanical properties of biogenic hydroxyapatite-based composites modified by magnetite (1, 5, 25 and 50 wt.%) and chitosan. It was established that increase in content of magnetite in composite composition from 1 to 50 wt. % lead to decrease in porosity from 38 to 29 % and significantly increase (7 times for compressive strength and Young's modulus) in mechanical properties, correspondingly, in comparison with pure biogenic hydroxyapatite. Moreover, prepared composites have mechanical properties with that of human cancellous bone, which in combination with their structure, magnetic and resorption properties as well as non-toxicity make them promising for replacement of bone tissue defects that do not under mechanical loads.

Keywords: Biocomposite, Hydroxyapatite, Magnetite, Chitosan, Mechanical Properties.

1. Introduction

One of the main characteristics of materials that are developed as bone substitutes is their mechanical properties. Hydroxyapatite doesn't have a sufficiently complex, from the point of view of design, mechanical behavior, as it is a rather brittle material, which is explained by the high strength of ionic bonds. The mechanical properties decrease significantly with the growth of the amorphous phase of hydroxyapatite, and also largely depend on the porosity and grain size, while high crystallinity and low porosity provide higher stiffness and strength of the material under compression and tension [1]. However, the open porous structure of the material ensures the migration of cells and the sprouting of blood vessels in the process of integrating the implant with bone tissue, and therefore improving the mechanical properties due to the reduction of porosity is not a good enough design solution.

In recent decades, researchers have focused on the creation of functional materials based on hydroxyapatite (biogenic (BHA) and synthetic), modified by various inorganic and organic additives to reduce the structural and therapeutic disadvantages of composites. Therefore, the synthesis of a BHA-based composite material, which will have sufficient mechanical properties to perform the function of a bone substitute, but without a significant loss of such important characteristics as biocompatibility, biodegradation and vascularization, is an urgent task today in the development of new materials for medical application.

2. Materials and methods

Compact composites based on biogenic hydroxyapatite modified by magnetite (1, 5, 25 and 50 wt. %) and chitosan were used as the researched materials, which were obtained according to the technology described in our previous work [2]. Total porosity was calculated using apparent (examined by geometric parameters and weight of samples) and skeleton density. The skeleton density was measured using a helium pycnometer (AccuPyc II 1340, Micromeritics) at 24 ± 2 °C, according to ISO 12154:2014 with previous drying at 50 °C for 5 h in vacuum by VacPrep 061 Sample Degass System (Micromeritics). Mechanical properties was evaluated using uniaxial compression tests and the Brazilian test by universal testing machine Ceram Test System (Ukraine).

3. Results and discussion

It was found that the mechanical properties of the BHA/magnetite/chitosan composites significantly depend on the amount and type (synthesis method) of the magnetite used for composites preparation. The higher magnetite content, the lower porosity and higher mechanical properties. Thus, unmodified (pure) BHA has the lowest compressive and tensile strength than BHA/magnetite/chitosan composites, regardless of magnetite content in composition. It could be connected with several factors, including the crystal structure and porosity of hydroxyapatite. It is known that the BHA crystal lattice allows cationic (Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ag^+ , Na^+ , etc.) and anionic (SiO_4^{4-} , Cl^- , Br^- , etc.) substitutions, while Fe^{2+} ions replace Ca^{2+} ions [3].

The addition of 1 wt. % magnetite to composite composition increases the strength by 39 % and 51 % in case of using the chemical precipitation and thermolysis method for magnetite synthesis, respectively. At the same time, Young's modul is 0.59 GPa and 0.64 GPa, respectively. Certainly, it is also associated with decrease of total porosity from 38% (pure BHA) to 29 %. Thus, composites with a 50/50 mass ratio of BHA/magnetite have the highest mechanical properties (compressive strength 15 and 33 MPa) compared to 5 MPa for pure

BHA, but unfortunately the lowest porosity (29 and 35 %) for magnetite prepared by thermolysis and chemical precipitation method, correspondingly.

Analyzing the BHA/magnetite/chitosan composite as a material for partial or complete replacement of bone tissue, it should be noted that there are two types of bone tissue: cortical, which makes up the outer part of skeletal structures, and trabecular, which acts as a shock absorber, providing flexibility and elasticity of the skeleton. For example, human trabecular bones, such as vertebrae and the tibial head, have a compressive strength of 0.3-7 MPa and a Young's modulus of 0.05-0.5 GPa [4]. But in general, the compressive strength of human cancellous bone could be equal 2-65 MPa depending on the area chosen [5].

It can be summarized that prepared BHA/magnetite/chitosan composites have strength comparable with that of human cancellous bone and are promising for non-loading use in restorative bone medicine.

References

1. Pecqueux F. Influence of microporosity and macroporosity on the mechanical properties of biphasic calcium phosphate bioceramics: Modelling and experiment / F. Pecqueux, F. Tancrét, N. Payraudeau, J.M. Bouler // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2010. - № 30. – pp. 819-829.
2. Synytsia A. Biogenic hydroxyapatite-based composites modified by magnetite and chitosan: synthesis, phase composition and structure / A. Synytsia, O. Sych, T. Babutina, T. Tomila, O. Bykov // *Func. mater.* – 2022. - № 29(2). – pp. 299-304.
3. Ressler A. Ionic substituted hydroxyapatite for bone regeneration applications: A review / A. Ressler, A. Žužić, I. Ivanišević, N. Kamboj, H. Ivanković // *Open Ceramics.* – 2021 – № 6.
4. Lindahl O. Mechanical properties of dried defatted spongy bone / O. Lindahl // *Acta Orthop Scand.* – 1976 – № 47.
5. Goldstein S.A. The mechanical properties of trabecular bone: dependence on anatomic location and function / S.A. Goldstein // *J. Biomech.* – 1987. – Vol. 20, No. 11-12. – P. 1055-1061.

Analysis of the Prospects for Biodiesel Fuel Production

Tkachuk Valentyna^{1[0000-0001-5793-5227]}, Topilnytsky Petro^{2[0000-0002-7770-2567]}

¹Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine

²Lviv Polytechnic National University,
12, Stepana Bandera St., Lviv, 79000, Ukraine
v.tkachuk@lntu.edu.ua

Abstract. The worldwide increasing demand for energy prompts scientists to focusing their research fields at developing sustainable processes for using renewable source of energy. The geo-political crises and the high concern for global warming, caused by greenhouse gas emissions from the combustion of fossil fuels made the depletion of fossil reservoirs become really dramatic for European Countries.

The use of waste biomass as energy feedstock is very interesting for economics and environment. Although the EU banned the production of petrol and diesel automotives by 2035, the employing of biodiesel from waste biomass seems a very interesting alternative, solving problems connected to both fossil depletion and waste disposal.

Keywords: Biomass, Biodiesel fuel, Biocomponents, Environment.

1. Introduction

Environmental and sustainability experts agree: The world needs to take quick action on climate change and accelerate our transition to clean energy. And with rising costs and fuel shortages, in part driven by the war in Ukraine, the urgency around securing a reliable, affordable energy source is of the utmost importance to all planet now.

2. Results

In our previous research, we optimized the composition of mixed fuel based on petroleum diesel fuel, as well as biocomponents such as isobutyl ester and methyl ester of rapeseed oil, and we also analyzed their indicators of performance properties [1] The advantages of using such mixed fuels with respect to fossil fuel were: *i*) raise of cetane number (when this indicator is higher, the level of noise and smoke during engine operation is lower); *ii*) possibility of tuning values of density and viscosity, while ensuring the pumping of fuel through the car's fuel system and its anti-wear properties; *iii*) improvement of lubricating features of the fuel, thus preserving car engine from consumption; *iv*) decreasing of the sulfur content in the obtained fuels with biocomponents, therefore improving their environmental properties; *v*) modifying the flash point. in a closed crucible, lowering the limit temperature of filterability. Another advantage of fuel modification of adding rape oil methyl and isopropyl esters is the improvement of the value indicator of washing ability.

In another work [2], the properties of biodiesel fuel based on sunflower and soybean oil, their chemical composition, have been investigated. In addition, vegetable oil based-biodiesel such as sunflower and soybean oil has better fluidity in cold temperature regions comparing to animal fatbased biodiesel. This may be the result of the high amount of polyunsaturated FAMES compositions in feedstocks.

A number of research works [3-4] are devoted to the improvement of oxidative stability and cold fluidity by the partial hydrogenation of biodiesel method. In addition, hydrogenation can lead to an increase in cetane number. It is a crucial fuel property corresponding to the ignition quality. After moderate hydrogenation of unsaturated FAMES, we can raise the ignition performance of fuel to a more satisfactory level.

A recent review paper summarizes the improvements in terms of the production, cold flow properties, oxidation stability as well as catalytic material for the hydrogenation process, and feedstock for the production concerning the ways to reduce trans-isomers in hydrogenated biodiesel [5].

Some investigations have been devoted to the inspection of the technologies and biofuel types produced [16-17]. Current state of execution shows a predominance of studies for biodiesel production through transesterification.

After all, some studies make use of different technologies with other types of biofuels produced through the valorization of WCO. These technologies are as following the production of hydrogen-rich syngas in gasification and bio-oils through various types of pyrolysis as well as biokerosene.

Evaluation of parameters of operational properties for fuels is made using standard methods of investigation of physical and chemical properties of fuels. These methods are standard for both oil and alternative fuels.

Density, kinematic viscosity, cetane number, solidification temperature, sulphur content, heat of combustion were resolved in biodiesel fuel that was used for research. All the indicators were figured by standard methods according to EN 14214.

The consumption of fossil petroleum products in the EU is gradually mixing, if in 2000 it amounted to 396.72 million tons, then in 2020 – 310.31 million tons (Fig. 1).

In 2020, the final consumption of oil and petroleum products for energy and non-energy purposes in the EU Member States fell 8.9 % to 384.0 (Mtoe) In almost one year it reached the lowest level ever recorded in the 31-year time series. It definitely showed the effects of the COVID restrictions for most EU Member States that started in the first few months of 2020.

The consumption declined from the peak of 2001 (499 Mtoe) to a low point in 2014 (409 Mtoe). Before the shock of the pandemic restrictions it was increasing.

Over the past three years, exports of spent raw materials to European oil companies have grown by 40%, and demand is forecast to triple by 2030. Due to the large amount of produced WCO, it is important to recycle this waste to transform it into a economically valuable “new product”. One of the methods to recycle this

waste is to transform it into biofuel.

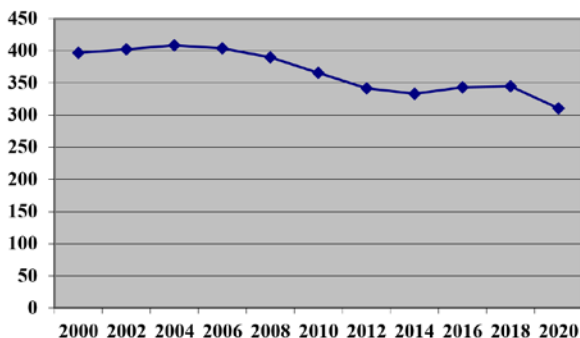


Fig. 1. Consumption of oil and oil products in EU, million tonnes

3. Conclusions. Overall, despite the future prospects of using electric vehicles and hydrogen fuel, the issue of biodiesel production, the use of modern biocomponents for petroleum diesel fuel, which will allow reducing the use of the latter, is still relevant. Therefore, scientists are trying to solve this problem in different ways. We consider it promising to optimize the composition of petroleum and biodiesel fuel with the provision of high operational properties of the fuel.

References

1. Merezhko N., Tkachuk V., Komakha V., Rechun O., Kovalska L. Optimization of Diesel Fuel Composition with Bio-Component and functional Additives. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering. (2021).DOI: [10.1007/978-3-030-77823-1_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_35)
2. Tang H, Salley SO, Simon Ng KY. Fuel properties and precipitate formation at low temperature in soy-, cottonseed-, and poultry fat-based biodiesel blends. *Fuel* 2008;87:3006–17. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.030>.
3. Natthida, N., Nattapong, T., Apanee, L. Partial hydrogenation of palm oil-derived biodiesel over Pd/C catalysts. *Int J Adv Sci Eng Tech* 2016; 4:195–200. http://www.ijaraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/6-291-1477121491195-200.pdf.
4. Kapila, Salley Steven O, Ng Simon KY. Effects of partial hydrogenation, epoxidation, and hydroxylation on the fuel properties of fatty acid methyl esters. *Fuel Process Technol* 2009; 90:1292–9. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.06.013>.
5. Derick, A., Meia, D., Zuoa, L., Zhanga, Q., Wangb, J.: A review on partial hydrogenation of biodiesel and its influence on fuel properties. In: *Fuel*, 251, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.036>.
6. Bezergianni, S.; Voutetakis, S.; Kalogianni, A. Catalytic Hydrocracking of Fresh and Used Cooking Oil. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 48, 8402-8406.

Fabrication of New Ionic Liquid/Polyetherimide Composite Membranes for Gas Separation

Vashchuk Alina ^{1,2}[0000-0002-4524-4311], Stanovský Petr ¹[0000-0002-2944-6765],
Rogalsky Sergiy ³[0000-0002-5200-5247], Tarasyuk Oksana ³[0000-0002-7825-9720],
Delpouve Nicolas ²[0000-0001-7134-9523], Dargent Eric ²[0000-0003-4715-7059],
Izak Pavl ¹[0000-0001-7364-3646], Pasichnyk Mariia ¹[0000-0003-3213-9720]

¹ The Czech Academy of Sciences, Institute of Chemical Process Fundamentals,
Rozvojova 135, 165 02 Prague 6 – Suchbát, Czech Republic

² Univ Rouen Normandie, INSA Rouen Normandie, CNRS,

Groupe de Physique des Matériaux UMR 6634, F-76000 Rouen, France

³ V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry,
National Academy of Sciences of Ukraine, 50, Kharkivske schose, Kyiv 02160, Ukraine
alina.vashchuk@i.ua

Abstract. In this study, novel composite membranes were obtained by incorporating hydrophobic protic ionic liquid, 2-butylaminoimidazolinium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide ([BAIm][TFSI]) into commercial poly(ether imide sulfone) (XH-1015, EXTEM™ RESIN) at concentrations of 20-60 wt%. The films were prepared by casting from methylene chloride solutions, and their structure and properties were investigated using EDS, FTIR, DSC, TGA, and sessile-drop water contact angle measurements. FTIR analysis revealed a physicochemical interaction between the carbonyl group of the imide cycle and imidazolinium cations via hydrogen bonding in the PEI/[BAIm][TFSI] composite films. Moreover, the introduction of the ionic liquid led to an increase in the hydrophilicity of the composite membrane surface, as evidenced by a decrease in the contact angle. According to DSC data, a significant shift of the glass transition temperature toward lower values was observed in PEI/[BAIm][TFSI] compared to the individual PEI. Despite the plasticizing effect, all composites exhibited excellent thermal stability up to 400 °C. The composite membranes were tested for their gas separation performance, specifically their potential to selectively separate CO₂ and CH₄ gas streams. The CO₂/N₂ and CO₂/CH₄, CH₄/N₂ selectivity values were measured.

Keywords: Poly(ether Imide), Membrane, Ionic Liquid, Gas Separation.

1. Introduction

Addressing climate change is crucial and requires immediate action due to its multifaceted nature caused by human activities like burning fossil fuels, deforestation, and industrial processes. Polymer membranes show promise in

removing greenhouse gases, but achieving the right balance between permeability and selectivity has been a challenge. To overcome this, researchers are exploring the functionalization of membranes using ionic liquids (ILs). ILs are organic salts composed of cations and anions that have a melting point below 100°C. Their inherent structural versatility, low volatility, high thermal stability, and remarkable affinity for acidic gases have made them popular in various separation processes. This approach offers a promising solution for removing acidic gases from flue streams.

2. Results

The commercial pellets of XH-1015 (EXTEM™ RESIN) were used as a matrix for the membranes (PEI). Hydrophobic protic ionic liquid, 2-butylaminoimidazolium bis (trifluoromethylsulfonyl) imide ([BAIm][TFSI]) was synthesized according to a previously reported method [1]. Yellow, optically transparent films were produced by solvent-casting from methylene chloride solutions containing 20, 30, 40, 50, and 60 wt% [BAIm][TFSI] (**Fig.1**).



Fig. 1. Photographs of the PEI/[BAIm][TFSI] membrane

The membranes were found to have a homogeneous distribution of C, O, N, S, and F elements through EDX mapping analysis. FTIR results indicate that the amino groups of imidazolium cation and carbonyl groups of PEI are involved in hydrogen bond formation. As a result of this interaction, the contact angle of the membrane decreases from 79° to 73-55° after modification with 20-60 wt% [BAIm][TFSI], respectively.

The DSC results clearly indicate high compatibility between the polymer matrix and the ionic liquid. Thus, the presence of 20 wt% and 60 wt% [BAIm][TFSI] significantly reduced the glass transition temperature of the composite membranes by 84°C and 216°C, respectively. According to thermogravimetric analysis data, PEI/[BAIm][TFSI] composites have excellent

thermal stability in nitrogen and thermal degradation points (*i.e.*, 5% weight loss) in the temperature range 372-405°C.

The membranes were tested for their potential to selectively separate CO₂ and CH₄ gas streams by measuring their CO₂/N₂ and CO₂/CH₄, CH₄/N₂ selectively. The results suggest that the CO₂/N₂ and CO₂/CH₄ selectivity shifted from the Knudsen mechanism towards the solubility-diffusion mechanism with the incorporation of 50-60 wt% [BAIm] [TFSI].

Thus, our findings demonstrated the successful development of novel PEI/[BAIm][TFSI] composite membranes and highlighted its potential for gas separation applications.

3. Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the International Visegrad Fund for supporting A. Vashchuk by the Visegrad Scholarship Program (ID #52210597).

Список посилань

1. Rogalsky S., Bardeau J.-F., Makhno S., Tarasyuk O., Babkina N., Cherniavska T., Filonenko M., Fatyeyeva K. New polymer electrolyte membrane for medium-temperature fuel cell applications based on cross-linked polyimide Matrimid and hydrophobic protic ionic liquid. *Materials Today Chemistry*. 2021. Vol.20. № 100453. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100453>

Study of Vibro-Cutting Device Control Systems with CNC to Improve Their Efficiency

Yaremchuk Ivan

Lutsk National Technical University, 75, Lvivska St., Lusk, 43018, Ukraine
kpm@lntu.edu.ua

Abstract. Structural calculation scheme of the hydropulse device for vibration cutting with CNC with built-in ring pressure pulse generator is considered. On the basis of the structural scheme and cyclogram of the working cycle of the device, its dynamic and mathematical models were developed, in which the hydraulic link is represented by a visco-elastic model of the working fluid (energy carrier) composed of the inertial elastic and dissipative elements.

Keywords: CNC, Dynamic Model, Hydropulse Device, Ring Spring, Frequency, Amplitude.

In order to test and control cutting chatter, a vibration controlling system for CNC milling machine is developed, which is based on the techniques of expert systems. According to the variations of vibration signal and the rules in an expert system, the controlling parameters are obtained. The cutting parameters of CNC milling machine can then be varied based on the parameters transmitted to the PMC. Therefore, a closed loop feedback of vibration control system is achieved. The system can effectively control the cutting chatter and improve the efficiency of CNC milling machine [1].

New product has been emerging on the market faster and with better quality. There is a new emerging market, which is custom product development. The custom product development faces challenges such as time constraint and necessity for exploring customer view. In the concurrent engineering, more advanced CAD system is employed in the designing process such as virtual prototyping or AI. This article offers an alternative solution to enhance the design efficiency by using a formally defined expert system to automate the designing process and generating 3D model, which is referred as design automation. One of the design automation being developed is the design of three degree of freedom vertical CNC milling machine. This system could boost the efficiency in designing and replaces the repetitive task in designing similar product.

Vibration cutting and vibration turning in particular, in comparison with conventional turning, have a number of known technological advantages, especially when processing viscous materials such as stainless steels and titanium alloys. The massive introduction of vibration cutting processes is constrained by the

practical absence of compact, with a wide range of vibration loading parameters, devices [2].

The purpose of conducting theoretical studies of dynamic processes, which reflect their course in the studied devices, as well as their experimental verification, which establishes the adequacy of the mathematical model to real physical processes, is the development of a scientifically based methodology for the design calculation of the created structure, which allows optimization of its design parameters [3, 4].

Modern software tools with CNC for mathematical modeling of physical processes make it possible to study the dynamics of processes occurring in oscillating systems without simplifying mathematical models. Taking into account all stages of the work cycle of the drive elements ensures the possibility of creating correct methods for the design calculation of the design of the machine or device.

References

1. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Knight, (2002). Product Design for Manufacture and Assembly. *Marcel Dekker, Inc.* P.688.
2. Obertyukh, R., Slabkyi A., Polishchuk, L., Povstianoi, O., Kumargazhanova, S., & Satymbekov, M. (2022). Dynamic and mathematical models of the hydroimpulsive vibro-cutting device with a pressure pulse generator built into the ring spring. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 12(3), 54-58. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3049>
3. Cieplik G. (2018) Estimation of the resonance amplitude in machines with inertia vibrator in the coast-down phase. *Mechanics & Industry*, Vol. 19(102)
4. Gursky V. et al. (2022) Dynamic Analysis of an Enhanced Multi Exciter for Industrial Vibrating Machines. *Machines*, Vol. 10(130), <http://doi.org/10.3390/machines10020130>.

Розробка зносостійких керамічних покриттів для імплантів, нанесених детонаційним напыленням

Знао Junjun ^{1[0009-0008-0602-5627]}, Korzhyk Volodymyr ^{1[0000-0001-9106-8593]},
Stukhliak Petro ^{2[0000-0001-9067-5543]}, Berdnikova Olena ^{1[0000-0001-9754-9478]},
Lepilina Kseniia ^{1[0000-0002-2750-3068]}, Skackov Ihor ^{1[0000-0001-6933-1148]}

¹ Науково-дослідний інститут зварювальних технологій імені Є.О. Патона
в провінції Чжецзян, вул. Фенар, 233, район Сяошань,

м Ханчжоу, провінція Чжецзян, 311225, КНР

² Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
вул. Руська, 56, Тернопіль, 24600, Україна

leksmih@gmail.com

Анотація. Для відновлення функцій кісткових елементів опорно-рухового апарату організму людини використовують імпланти з неорганічних матеріалів. До них відносять як рухомі, так і не рухомі конструкції (суглоби, хребці, зубні протези, внутрішньокісткові пластини), що замінюють функції вже втрачених за різних причин кісткових утворень. Однією з першочергових вимог використання штучно виготовлених імплантів є їх біологічна сумісність протягом тривалого часу. У даному напрямку наукових досліджень важливим є визначення умов утворення перехідної зони, що утворюється у місці контакту живої тканини та імпланту. Матеріал перехідної зони утворюється на його поверхні в період реабілітації зі швидкістю, що залежить від топології поверхні і природи матеріалу покриття. Останні фактори зменшують ризики розвитку біологічної несумісності.

Для швидкого відновлення функції організму, крім механічних показників, до матеріалу імпланту та матеріалу його поверхневого шару ставлять ряд вимог. Зона контакту з кістковою тканиною повинна мати розвинуту пористу поверхню. У даному випадку це зумовлює з біологічної, техніко-економічної та технологічної точки зору розробку покриттів з двох і більше шарів. Такі шари виконують різну функцію. Перший шар – захист основної конструкції від взаємного впливу середовища організму та імпланту. Другий шар виконано з розвинутою поверхнею і пористим для пришвидшення остеоінтеграції для покращення міцності адгезійних з'єднань. Доведено скорочення часу реабілітації та забезпечення додаткової біологічної фіксації за рахунок проникнення кісткової тканини в пори.

Для реалізації поставлених задач використано метод багатокамерного високошвидкісного напылення. Запропоновані покриття з підвищеною міцністю адгезійних з'єднань, зносостійкістю, твердістю і контактною міцністю для ендпротезів та дентальних імплантів. Досліджено параметри процесу детонаційного напылення при формуванні покриттів.

Ключові слова: імпланти, детонаційне високошвидкісне напылення, покриття, міцність адгезійних з'єднань, контактна міцність.

1. Вступ. Постановка задачі

Для відновлення функцій ендоскелету в організмі людини використовують ендопротези з неорганічних матеріалів. До них відносять як рухомі (кульшові суглоби), так і не рухомі (хребці, дентальні імпланти, кісткові пластини) конструкції, що замінюють функції вже втрачених за різних причин кісткових елементів скелету. Однією з першочергових вимог використання виготовлених штучно елементів є їх біологічна сумісність протягом тривалого часу. У даному напрямку наукових досліджень важливим є дослідження умов утворення перехідної зони у місці контакту живої тканини та поверхні імпланту. Матеріал такої перехідної зони формується в процесі остеоінтеграції. Для швидкого відновлення функції організму, крім механічних показників, до матеріалу поверхні штучного елемента висувають ряд вимог. Формують покриття імпланту з розвинуту поверхню з певною кількістю пор. У даному випадку важливими як з біологічної, технічної і економічної точки зору є розробка покриттів на поверхні імпланта з двох і більше шарів. Такі шари виконують різну функцію: захист основної конструкції імпланту при дії середовища організму та забезпечення біологічної фіксації пористим шаром за рахунок проростання кісткової тканини в пори покриття. Значно скорочується час реабілітаційного періоду.

2. Конструювання біосумісних покриттів

У сучасній медичній практиці використовують металеві ендопротези з двохшаровим покриттям з пористого титану та гідроксиапатиту. Виникають проблеми як біологічного, так і техніко-технологічного та економічного характеру.

2.1. Методи отримання пористого шару. Авторами [1-3] представлена технологія виготовлення імплантів з пористим покриттям. Встановлено режими формування такого шару методом плазмового напилення з дротів Ti та Zr. Головним чинником керування параметрами пористості покриття є величина струму, діаметр дротів та витрата газу для утворення плазмового середовища.

2.2. Детонаційне напилення. Для вирішення поставлених задач використано метод багатоканального високошвидкісного нанесення покриттів [4]. Детонаційне напилення передбачає високочастотне (більше 20 Гц) генерування імпульсних струменів продуктів згоряння. За рахунок кумуляції енергії від циліндричної та кільцевої камер згоряння виникає два максимуми тиску (3,5 МПа). Двокамерна конструкція забезпечує підвищення швидкості продуктів детонаційного згоряння. Спостерігають збільшення швидкості руху порошкового матеріалу.

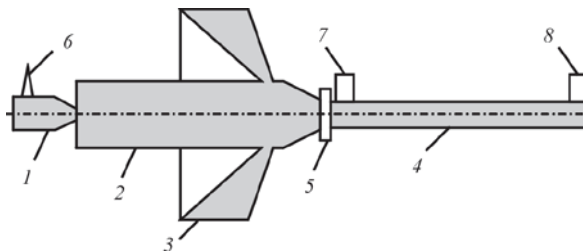


Рис. 1. Схема багатокамерного детонаційного пристрою:

- 1 – форкамера для ініціювання процесу детонації; 2 – основна циліндрична камера; 3 – кільцева камера з щілинним виходом у циліндричний стовбур; 4 – циліндричний стовбур; 5 – газодинамічний вузол подачі; 6 – система ініціювання детонаційного режиму згоряння; 7, 8 – п'єзоелектричні датчики тиску.

Характерною особливістю структури, що формується при високошвидкісних режимах детонаційного напilenня, є наявність дисперсної структури з наночастинками зміцнюючих фаз 10...120 нм. Запропоновано покриття з підвищеною міцністю адгезійних з'єднань, зносостійкістю, твердістю і контактною міцністю для ендопротезів та дентальних імплантів.

Досліджено параметри процесу детонаційного напilenня при формуванні покриттів зі швидкістю детонаційної хвилі 1200-1600 м/с з температурою в камері утворення газової суміші 3000⁰С. Проведені токсикологічні дослідження згідно стандарту ДСТУ EN ISO 10993- 5:2015 не виявили цитотоксичного впливу сформованих покриттів.

Список посилань

1. Allan D.O., Won Gyu Choi, Paul J. Keller and all. The radiographic and imaging characteristics of porous tantalum implants within the human cervical spine. //Spine. - 1998, - Vol. 23, №11. - P. 1245-1251.
2. Михайлов О.В., Ткаченко Л.М., Штерн М.Б., Дубок В.А. Оптимізація складу та геометричної форми імплантатів на основі комп'ютерного моделювання.// Порошкова металургія. – 2003. – №12. – С. 10-16.
3. Tadashi Tsukeoka, Masahiko Suzuki, Chikara Ohtsuki, Yoshikazu Tsuneizumi, Jin Miyagi, Atsushi Sugino, Takayuki Inoue, Ryouichi Michihiro, Hideshige Moriya, Enhanced fixation of implants by bone ingrowth to titanium fiber mesh: Effect of incorporation of hydroxyapatite powder. J. of Biomed. Mater. R., Volume 75B, Issue 1, October 2005, Pages 168-176.
4. Kolisnichenko O.V., Tyurin Yu.N. and Tovbin R. Efficiency of process of coating spraying using multichamber detonation unit. The Paton Welding Journal, 2017, #10, 18-23 pages. <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.10.03>

Одержання наночастинок срібла з екстракту жмиху винограду, отриманого НЕР (низькотемпературним евтектичним розчинником)

Андрух Юлія, Воробйова Вікторія

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Берестейський проспект (Перемоги), 37, Київ, 03056, Україна
andruxh1805@gmail.com

Анотація. В даній роботі представлено «зелений» метод отримання наночастинок срібла з використанням екстракту виноградного жмиху, що одержали низькотемпературним евтектичним розчинником (НЕР) на основі бетаїну та молочної кислоти. Даний тип розчинників є екологічним, недорогим, доступним та не потребує видалення. Завдяки відновним та стабілізуючим властивостям екстракт із виноградного жмиху дозволяє синтезувати наночастинок необхідного розміру та зберігати їх стабільними впродовж довгого періоду часу. Саме низькотемпературний евтектичний розчинник (НЕР) на основі бетаїну показує найкращі показники щодо стабільності синтезованого наносрібла. Наночастинок срібла (AgNPs) мають значну поверхневу зону, що призводить до помітної біохімічної реакційної здатності, каталітичної активності та атомарної поведінки порівняно з більшими частинками з таким же хімічним складом. Синтез їх з рослинної сировини є цікавим і прогресивним напрямком досліджень завдяки його привабливим багаточільовим характеристикам, а саме великому відношенню площі поверхні до об'єму. Розчинник був синтезований методом нагрівання та перевірений інфрачервоною спектроскопією з перетворенням Фур'є (FTIR). Наночастинок були ідентифіковані за допомогою спектроскопічного дослідження та охарактеризовані за допомогою сканувальної електронної спектроскопії (SEM).

Ключові слова: низькотемпературні евтектичні розчинники, наночастинок срібла, екстракт виноградного жмиху.

1. Вступ

AgNPs стали дуже затребуваним матеріалом для споживчих товарів і використовуються в медицині, медичних приладах, фармакології, біотехнології, електроніці, машинобудуванні, енергетиці, магнітних полях і оздоровленні навколишнього середовища [1]. Відомі підходи синтезу наночастинок “зверху-вниз” та “знизу-вгору” переважно базуються на використанні токсичних та агресивних органічних розчинників або

реакційних середовищ, які мають певні обмеження у подальшому використанні, потребують дороговартісного обладнання та високих енергетичних затрат [2]. Тому, сьогодні увага наукової спільноти прикута до “зелених” методів отримання наночастинок, а саме безпечних низькотемпературних евтектичних розчинників, які являють собою суміш двох компонентів, один з яких є донором водневого зв’язку, а інший – акцептором водневого зв’язку. Їх унікальні властивості, такі як легке приготування, низька вартість, негорючість і низька токсичність, є основними перевагами перед звичайними леткими органічними розчинниками та іонними рідинами [3].

2. Експериментальна установка та процедура

DES отримують шляхом нагрівання бетаїну, як акцептора водневого зв’язку з донором водневого зв’язку, DL-молочною кислотою, у молярному співвідношенні 1:2, при температурі 60°C, постійно перемішуючи [4]. Для екстракту використовували висушені виноградні вичавки, які змішували з НЕР у співвідношенні 1:10. Суміш поставили в ультразвукову ванну з ультразвуковою вхідною потужністю 40 Вт і частотою 30 кГц. Екстракцію проводили при температурі 65°C протягом 50 хв, після чого екстракт фільтрували через нейлоновий фільтр з діаметром пор 0,45 мкм. Для отримання наночастинок срібла (AgNPs) еквівалентні об’єми розчину екстракту та 0,01 М AgNO₃ окремо нагрівали у скляних стаканах на водяній бані до температури 40°C. Потім змішували і залишали на водяній бані на 15 хв [5]. Загальний вміст поліфенолів і флавоноїдів визначали з використанням реактивного методу Фоліна–Чокальтеу в перерахунку на галову кислоту. Оптичну густину отриманого розчину визначали на спектрофотометрі при довжині хвилі 760 нм у кюветі з товщиною шару 10 мм.

3. Результати і обговорення

Були отримані результати хроматографічного аналізу екстракту виноградного жмиху, отриманого НЕР, в основному, екстракт складається з фенольних сполук, що відомі своєю відновною здатністю, а саме галової (10,8%) та кавової кислоти (8,7%). Отже, аналіз складу екстракту, отриманого НЕР показав вміст органічних речовин, що можуть використовуватись у якості відновлювача та стабілізатора, для отримання матеріалу нанорозміру. Згідно результатів за методом Фоліна–Чокальтеу, що показали високий вміст поліфенолів в екстракті (80 мг), даний ДЕС є хорошим способом отримання екстрактів із високою концентрацією поліфенолів. Синтезовані наночастинки аналізували за допомогою УФ-видимого спектрометра. Смуги локального поверхневого плазмонного

резонансу (LSPR) спостерігаються у видимій області 300-700 нм. УФ-видимий спектр AgNP демонструє максимальне поглинання при 436 нм через 24, 30, 72 і 120 годин після синтезу наночастинок (рис. 1).

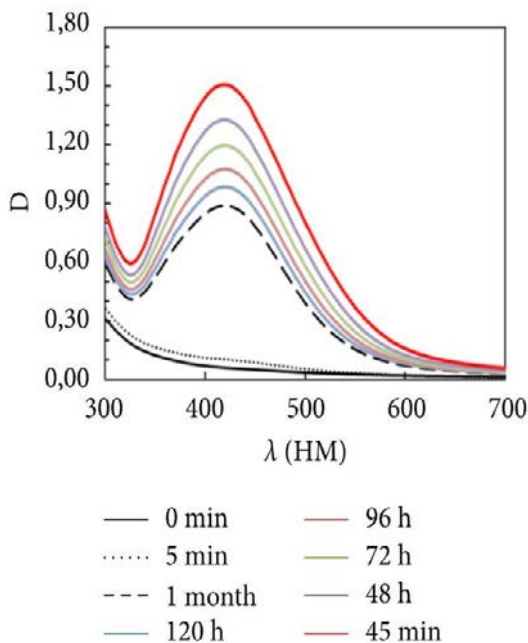


Рис. 1. УФ-видимі спектри AgNP

SEM-аналіз синтезованих AgNP підтвердив сферичну форму наночастинок і дозволив виміряти їх середній розмір, який, становив близько 10-15 нм. Порівнювали екстракт на водній основі та на основі НЕР, згідно яких, НЕР мають нижчу відновну здатність, але додатково діють як стабілізуючі агенти, що є більш важливою властивістю для створення необхідного нанорозміру частинок і дисперсії з колоїдною стабільністю.

Висновки

Екстракт жмиху винограду, отриманого за допомогою НЕР може стати ефективним джерелом біовідновлювача та стабілізатора для синтезу наночастинок срібла. Синтезовані AgNPs мають розмір приблизно 10-15 нм зі сферичною формою та мають кристалічну природу з морфологією гладкої поверхні. Спектроскопічні дослідження визначили наночастинок як гранецентровані кубічні одиничні структури.

Список послань

1. Silver nanoparticles synthesized by laser ablation confined in urea choline chloride deep-eutectic solvent / D.O. Oseguera-Galindo et al. *Colloid and interface science communications*. 2016. Vol. 12. P. 1-4.
2. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications / M. Rafique et al. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*. 2016. Vol. 45, no. 7. P. 1272-1291.
3. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise / S. Ahmed et al. *Journal of advanced research*. 2016. Vol. 7, no. 1. P. 17-28.
4. Exploiting fruit waste grape pomace for silver nanoparticles synthesis, assessing their antioxidant, antidiabetic potential and antibacterial activity against human pathogens: a novel approach / G.D. Saratale et al. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, no. 8. P. 1457.
5. Vorobyova, V.I. (2023). Plant extract based on deep eutectic solvent-mediated biosynthesis of silver nanoparticles: cytotoxicity and antibacterial effects. *bioinorganic chemistry and applications*, 2023.

Матеріали для захисту від електромагнітних випромінювань

Анопко Дмитро^[0000-0002-2585-2512], Гончар Ольга^[0000-0002-1071-7553],
Кочевих Марина^[0000-0002-6201-3507], Кушнерова Лілія^[0000-0003-0759-4553]

Київський національний університет будівництва і архітектури,
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна
anopko.1973@gmail.com

Анотація. Існуючі матеріали для екранування відрізняються за складом та структурою. Металеві матеріали мають високу провідність, а матеріали підгрупи заліза, ще і магнітні властивості. Вони відрізняються високою ефективністю на радіочастотах і технологією виготовлення, - існують суцільні та перфоровані, у вигляді листів сіток, або покриттів. Але металеві екрани мають високий коефіцієнт відображення, що пов'язано з високою електропровідністю металів. Для екранування електромагнітних хвиль за рахунок поглинання випромінювання, доцільно використовувати електропровідні матеріали, що містять вуглець, або композитні матеріали. Одним з найбільш перспективних напрямків екранування є застосування метало- та вуглецево-наповнених розчинів та бетонів. Вони відрізняються необхідними механічними характеристиками, а також дозволяють реалізувати часткове поглинання ЕМВ за рахунок особливостей структури матеріалу.

Ключові слова: екранування, випромінювання, електромагнітні хвилі.

1. Вступ

В наш час розробка систем екранування та захисту від електромагнітних випромінювань (ЕМВ) є актуальною проблемою. Це пов'язано зі зростанням електромагнітного фону, збільшенням станцій мобільного зв'язку, радіозв'язку та радіолокації, використанням високочастотного обладнання, широким використанням електронної техніки та технологій в побутових цілях, промисловості та військовій техніці.

Екранування – найбільш ефективний спосіб захисту від впливу електромагнітних полів та локалізації випромінювань будь-яких засобів. Особливо актуальним є питання створення повітропроникних, технологічних та дешевих матеріалів, що забезпечують високий рівень перешкоди ЕМВ в широкому діапазоні частот. Перешкоджання небажаним впливам випромінювання на електронну техніку, а також для захисту організму людини від шкідливого впливу ЕМВ. Для захисту від ЕМВ перспективним є розробка та дослідження радіо-поглинаючих наповнювачів та покриттів,

основою яких є вуглецеві волокна [1, 2]. На основі таких наповнювачів можуть бути отримані композитні матеріали та розроблені технології виготовлення екрануючих матеріалів різного призначення.

2. Результати досліджень

Поглинання електромагнітних хвиль відбувається за рахунок діелектричних, магнітних втрат та втрат на провідність, які намагаються максимізувати, для збільшення ефективності екранування. Відзеркалення електромагнітних хвиль відбувається на будь-яких неоднорідностях в матеріалі, а при конструюванні екранів визначається різницею хвильового опору середовища розповсюдження хвилі та екрану. Також використовують розсіювання фронту ЕМВ на різних неоднорідностях структури матеріалу або конструкції для досягнення більш повного поглинання ЕМВ та зменшення рівня відзеркаленого сигналу.

Для екранування електромагнітного поля за рахунок відзеркалення хвиль можуть застосовуватися матеріали, що проводять електричний струм, наприклад: вуглецеві волокна, металонаповнені полімери, метало насичені бетони [3].

Перспективним напрямком можна вважати створення композитів з додаванням вуглецевих волокон, вуглецевомістких заповнювачів (шунгіт) або дисперсного технічного вуглецю (сажі). Були досліджені композити на основі магнезійного в'язучого та шунгітового заповнювача, визначений коефіцієнт ослаблення ЕМВ РЛС в моделі екрану з довжиною ребра 500 мм. Аналіз результатів показує, що ефективність екранування в діапазоні 1-35 ГГц моделі екрану з довжиною ребра 500 мм складає від 3,0 до 18,0 дБ. Також були досліджені композити з додаванням в якості вуглецевого наповнювача технічного вуглецю (сажі). Аналіз результатів показує, що ефективність екранування в діапазоні 1-35 ГГц моделі екрану з довжиною ребра 500 мм складає від 2,7 до 18,0 дБ. Що підтверджує можливість використання технічного вуглецю в якості радіопоглинаючого компонента. В основу методики покладений метод порівняння електромагнітного випромінювання, що впливає на екран та проникає в матеріал екрану, в даному випадку магнезійно-шунгітового матеріалу та метало-вугленасиченого. Вартість виготовлення екранів з металізованих тканин, що забезпечують ефективність подавлення ЕМВ 40 дБ, складає від 25 000 грн за м², магнезито-шунгітових розчинів – 200 грн за м², метало-вугленасичених – 350 грн за м².

В конструкціях екранів на основі шунгіту та технічного вуглецю, використовують явище розсіювання хвиль, втрати на провідність, магнітні та діелектричні втрати в середовищі, які пропорційні значенням відносної діелектричної і магнітної проникності матеріалу. В ідеальному випадку

значення діелектричної і магнітної проникності матеріалу повинні бути максимальними і дорівнювати, що зменшить рівень віддзеркалених хвиль.

3. Висновки

Останні розробки пов'язані з розробкою композитних матеріалів з широким частотним діапазоном електромагнітних екранів і отримання багатофункціональних конструкцій. Ефективно поглинають хвилі ЕМВ ферити, феромагнітні матеріали та діелектрики [4, 5, 6]. В зв'язку з розвитком технології отримання композитних матеріалів, властивості яких можуть змінюватися в широких межах шляхом підбору матеріалу в'язучого та наповнювача, особливої уваги заслуговують гетерогенні радіопоглинаючі матеріали. В якості сировинних компонентів використовуються неорганічні наповнювачі та волокна, що фіксуються у в'язучому (оксиди заліза, алюмінію, титану, шунгіту, вуглецю). Ці матеріали мають як високу ефективність екранування, так і значний коефіцієнт поглинання ЕМВ.

Список посилань

1. Ворожбіян М.І. Будівельні матеріали як захист від негативного впливу електромагнітного випромінювання / М.І. Ворожбіян, О.В. Костиркін, М.Ю. Іващенко // Комунальне господарство міст. – Харків. – 2015. Випуск 120 (1) – с. 36-41
2. Терещенко О.П. Вплив частоти електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону на гранично допустиму напруженість електричного поля / О.П. Терещенко // *Modern engineering and innovative technologies*. - Karlsruhe, Germany: Sergeieva & Co, 2019. – Iss. No 6, part 1. – P. 9-13.
3. Electromagnetic interference shielding by carbon fibre reinforced cement chion Jeng-Maw, Zheng Qijun, Chung D.D.L. // *Composites (Cr. Brit)* – 1989. – 20. – No 4. – p. 379-381.
4. Сердюк В.Р. Радіозахисні покриття варіатронної структури із бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. – 2008. – No 5. – С. 37-40.
5. Лемешев М.С. Будівельні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання / М.С. Лемешев, О.В. Березюк // *Вісник Сумського національного аграрного університету*. – 2014. – Вип. 10 (18). – С. 57-62.
6. Сердюк В.Р. Радіопоглинаючі покриття з бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // *Збірник наукових статей “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”*. Рівне, 2005. – Випуск No 12. – С. 62-68.

Дослідження розмірних зв'язків у процесі абразивної обробки пористих матеріалів

Божко Тетяна ^[0000-0003-2956-2384], Самчук Людмила ^[0000-0003-2516-045X]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
t_bozhko@ukr.net

Анотація. Досліджено взаємодію деталі з шліфувальним кругом, формування шорсткості оброблюваної поверхні залежно від режимів обробки, характеристик інструмента та ряду фізико-механічних властивостей матеріалів. Отримано рівняння яке характеризує баланс переміщення в технологічній системі, що дозволяє розрахувати значення вертикальної подачі верстата.

Ключові слова: розмірні зв'язки, шорсткість, точність обробки.

Розмірно-точносний аналіз технологічного процесу має на меті визначення розмірних показників якості досліджуваного технологічного процесу. Розмірний аналіз технологічних процесів передбачає встановлення взаємозв'язків усіх точносних параметрів деталей від початкової заготовки до фінішних операцій шляхом побудови розмірних схем виявлення операційних розмірних ланцюгів і застосування методів їх розв'язання.

Комплексний підхід до проектування операцій отримання заготовок, механічної та термічної обробки, нанесення покриттів, при розрахунку припусків і точносних параметрів дозволяє скоротити терміни проектування і впровадження технологічних процесів. Це дозволить зменшити витрати металу, понизити сумарну трудомісткість продукції та підвищити її якість, у кінцевому результаті отримати вигоду в економічних показниках.

Змодельовати на етапі проектування взаємозалежність технологічних розмірів, а потім врахувати вплив точності їх розмірів на точність конструкторських розмірів, можна шляхом складання і розв'язку специфічних технологічних розмірних ланцюгів.

Усі розрахунки, пов'язані з розмірним аналізом, підпорядковуються єдиній цілі – більш точне прогнозування похибок обробки в проектних варіантах і аналіз причин розмірного браку у вже діючих технологічних процесах.

У роботах [1], [2] представлено формування розміру деталі в результаті послідовного зняття металу з її поверхні при взаємодії інструмента та заготовки в процесі обробки компактних матеріалів.

Розмір готової деталі формується в результаті зняття матеріалу Δr . При взаємодії деталі з шліфувальним кругом, формування мікропрофіля оброблюваної поверхні залежить від режимів обробки, характеристик інструмента та ряду фізико-механічних властивостей, що є особливістю абразивної обробки пористих спечених матеріалів. В результаті зняття пористого матеріалу Δr може перевищувати значення вертикальної подачі на деяку величину приросту Δt_x , величина якої визначається шаром шорсткості оброблюваної поверхні H та пористістю деталі.

В результаті досліджень було отримано рівняння, яке характеризує баланс переміщення в технологічній системі, що дозволяє розрахувати значення вертикальної подачі верстата:

$$S_{Bi} = \Delta t_{\phi i} + \Delta R_i + \Delta r_{i-1} - \Delta A_i, \quad (1)$$

де $\Delta t_{\phi i} = \Delta t_{\phi ni} + \Delta t_{\phi ski}$ – приріст фактичної глибини різання на i -му проході; $\Delta t_{\phi ni}, \Delta t_{\phi ski}$ – номінальне значення фактичної глибини різання і її приріст за рахунок мікросколів під зерном відповідно; $\sum \Delta R_i$ – знос круга на i -му проході; Δr_{i-1} – значення зняття матеріалу на $i-1$ проході; $\sum \Delta A_i$ – приріст пружних деформацій.

Таким чином, для визначення розмірів готової деталі, необхідно розрахувати мікропрофіль поверхні деталі при взаємодії інструмента з заготовкою та з врахуванням пористості деталі, в результаті якого зняття матеріалу може перевищувати значення вертикальної подачі на деяку величину приросту Δt_x .

Список посилань

1. Рудь В.Д. Розмірно-точностний аналіз конструкцій та технологій: навчальний посібник / В.Д. Рудь, О.О. Герасимчук, Т.П. Маркова – Луцьк: Луцький НТУ – 2008. – 344с.
2. Новоселов Ю.К. Механика шлифования / Ю.К. Новоселов; под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова // Теоретико-вероятностные модели. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 т. Т.4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – Одесса: Изд-во ОНПУ, 2002. – С. 148-209.

Функціональні Cu- Al-Mn сплави з ефектом пам'яті форми

Бублей Ірина, Коваль Юрій, Сич Тетяна

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,
бульв. Академіка Вернадського, 36, Київ, 03680, Україна
bubleley@imp.kiev.ua

Анотація. Наведені результати дослідження сплавів системи Cu-Al-Mn з ефектом пам'яті форми при мартенситному перетворенні. Наші дослідження дозволили систематизувати дані про температуру початку прямого мартенситного перетворення, що полегшує вибір складу матеріалів, необхідних для вирішення певних технічних завдань. Використання наших результатів дозволяє точно та з мінімальними витратами підібрати склад прецизійного функціонального сплаву.

Ключові слова: ефект пам'яті форми, мартенситне перетворення.

1. Вступ

При промисловому застосуванні сплавів Cu - Al - Mn з ефектом пам'яті форми (ЕПФ) виникає необхідність використання матеріалів з наперед заданим комплексом фізико-механічних властивостей та характеристик мартенситного перетворення (МП). Відомо [1], що легування алюмінієм різко знижує мартенситну точку сплавів. Так, введення 1% ваг. алюмінію в бінарні метали знижує температуру початку прямого мартенситного перетворення Mn приблизно на 100⁰C. Варіюючи склад матеріалу, можна отримувати сплави з однаковою температурою початку прямого МП Mn, але з різними механічними та фізичними властивостями [1-3]. Так, наприклад, нами встановлено [3], що сплави Cu - 14% ваг. Al - 3% ваг. Mn та Cu - 13% ваг. Al - 7.5% ваг. Mn мають однакову температуру Мп (-80⁰C), проте твердість матриці відрізняється (300 і 200 Hv відповідно). При цьому визначальним параметром є температура Мп. Спроби передбачити поведінку Мп для сплавів під час легування було зроблено значною кількістю дослідників. Так, наприклад, у роботах [4-6] було встановлено лінійну залежність температури Мп від хімічного складу. У роботі [7] встановлено, що в сплавах Cu – 27% ат. Al – 6% ат. Mn та Cu – 26% ат. Al – 5% ат. Mn з температурою Мп 100 К збільшення вмісту на 1% ат. Al та 1% ат. Mn у сплаві може знизити температуру Мп на 150 К.

Проведені раніше дослідження показують, що температура Мп дуже чутлива до хімічного складу сплавів. У зв'язку з цим виникла необхідність

упорядкування численних власних та літературних даних про характеристичні температури МП у сплавах системи Cu-Al-Mn та побудову графіків залежності температури початку прямого МП Mn від складу таким чином, щоб Mn була однаковою для сплавів з різним змістом легуючих елементів. Проаналізувавши наявні дані про найчастіше затребувані у промислових цілях сплави, ми дійшли висновку, що це сплави, МП в яких відповідає таким температурам: поблизу температури рідкого азоту, -10°C , -80°C та температури кипіння води.

Ціль роботи – отримання довідкових даних для сплавів системи Cu-Al-Mn про температуру Mn для вибору складу матеріалів, що підходять для вирішення різних технічних завдань.

2. Методики та результати проведення досліджень.

Сплави Cu-Al-Mn з вмістом алюмінію від 11,5 до 15% ваг. та марганцю від 0.5 до 10% ваг. виплавили в індукційній печі. Із злитків вирізали зразки для рентгеноструктурних досліджень діаметром 0.5 мм, для дослідження прогину при трьохточковому вигині та електроопорі розміром $30 \times 3 \times 0.5 \text{ мм}$ і загартовували у воду від 900°C .

На рис. 1 відображені криві залежності температури початку прямого мартенситного перетворення Mn від складу сплаву. Як видно з рис., наші експериментальні дані відрізняють від літературних (лінійна залежність). Введення додатково 1% ваг. алюмінію знижує Mn на 100°C , а збільшення вмісту марганцю на 1% ваг. – знижує на 50°C . Відхилення від лінійної залежності в сплавах, що містять 13-15% ваг. Al та 2-4% ваг. Mn пояснюється особливістю їхнього фазового складу. Відповідно до діаграм стану [7, 8], при підвищених температурах сплави такого складу знаходяться в області існування $\beta + \gamma_2$ - фаз. Виділення деякої кількості частинок γ_2 -фази вже в процесі загартовування призводить до збіднення матриці алюмінієм і, як наслідок, підвищення температури МП.

Таким чином, проведені нами дослідження дали змогу систематизувати дані про температуру початку прямого мартенситного перетворення Mn, що полегшує вибор складу матеріалів, необхідних для вирішення певних технічних завдань. Показники МП не підпорядковуються лінійному закону, як розраховувалося раніше. Використання наших результатів дозволяє точно та з мінімальними витратами вибирати склад прецизійного функціонального сплаву.

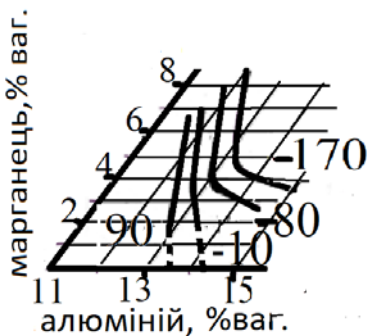


Рис. 1. Ізотерми температури початку прямого мартенситного перетворення загартованого сплаву. Суцільна лінія – експериментальні результати, пунктирна – літературні [1]

Список посилань

1. H. Warlimont and L. Delaey, *Martensitic Transformation in Copper-, Silver- and Gold-based Alloys* (Oxford: Pergamon Press: 1974).
2. Y. Satou, R. Kainuma, K. Ishida. *Mater. Sci. and Eng. A273-275*: 375 (1999)
3. I.R. Bublely, Yu.N.Koval, P.V.Titov *Metaloфізика I nov. techn.*, 18, №4:20 (1996). (in Russia)
4. C.L.D. Castillo, B.G. Mellor, M.L. Blazpuez, *Scripta Mater.* 21 (1987) 1711.
5. Kainuma, S. Takahashi, K. Ishia, *J. de Phys. III.* 5 (1995), C8-961.
6. G. Zak, A.C. Kneissl, G. Zatulskij, *Scripta Mater.* 34 (3) (1996) 3637
7. Yuhong Zheng a, Chongjian Li a, Farong Wan a,*, Yi Longb *Journal of Alloys and Compounds* 441 (2007) 317–322
8. W. Koster, T. Godeke *Zeitschrift fur Metallkunde* 57, No2:882(1966).

Автоматизований склад

Валецький Богдан [0000-0002-7704-5253]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
b.valetsky@lntu.edu.ua

Анотація. Автоматизований склад – це логістичний центр, який використовує комп’ютерні системи та роботизовані пристрої для зберігання, переміщення та обробки товарів. Цей склад забезпечує швидкість обробки замовлень, точність інвентаризації, зменшення витрат на працю та збільшення продуктивності. На автоматизованому складі можуть бути встановлені автоматичні системи сортування, роботизовані пристрої для переміщення товарів, системи сканування та ідентифікації товарів, а також програмні засоби для управління складом та взаємодії з клієнтами.

Сучасні логістичні центри потребують систем зберігання, які можуть забезпечити постійну доступність всіх одиниць зберігання. Ці системи автоматизовані, що дозволяє заощадити площу. Вони складаються з стелажів, смуг руху, конвеєрів, контейнерів для зберігання та транспортування товарів, а також ІТ забезпечення для керування. Це гарантує, що процес організований, а окремі товари доступні.

Ключові слова: склад, процес, вантаж, переміщення, автоматизація.

Сучасним логістичним центрам, яким необхідно керувати постійно значним об’ємом замовлень, потрібні системи зберігання, що забезпечують постійну доступність усіх одиниць зберігання. Автоматизовані системи зберігання деталей забезпечують компактне розміщення та повністю автоматизоване постачання товарів, забезпечуючи високу швидкість вибору великої кількості одиниць зберігання.

Елементи автоматично переміщуються конвеєрами до місця комплектування на основі принципу «товари до оператора». Залежно від вашого обороту і типу носія, ця система доступна у вигляді одно- або багатопозиційної системи і в одно-, дво- або багаторівневої конструкції. Конструкція з високим складом означає, що автоматизована система зберігання товару вимагає відносно невеликої площі поверхні основи.

Сучасні системи транспортування рухаються виключно вузькими смугами, що також збільшує доступну площу зберігання [1, 2]. Як правило, автоматизоване зберігання товарів складається з стелажів з однією або декількома смугами руху (рис. 1., *a-b*), систем транспортування, конвеєрів,

контейнерів для зберігання і транспортування товарів, а також IT забезпечення для керування, яке гарантує, що процес є організованим, та окремі товари завжди доступні.

Система управління складом (Warehouse Management System) – це програмно-апаратна система управління складом, яка забезпечує автоматизацію логістичних та складських процесів. Вона може використовуватися як окремий продукт або як частина ERP-системи. Вона класифікується за вартістю, складністю процесів, способом налаштування та напрямком орієнтованості.

WMS дозволяє використовувати три основні принципи обробки товару – FIFO (first-in-first-out), FEFO (first-expire-first-out) та LIFO (last-in-first-out). Кожен із цих позначає порядок взаємодій із вантажем.

Найчастіше використовується комплектація FIFO – відвантажуюмо товар, що давно прибув, або FEFO – для продуктів з певним терміном придатності.

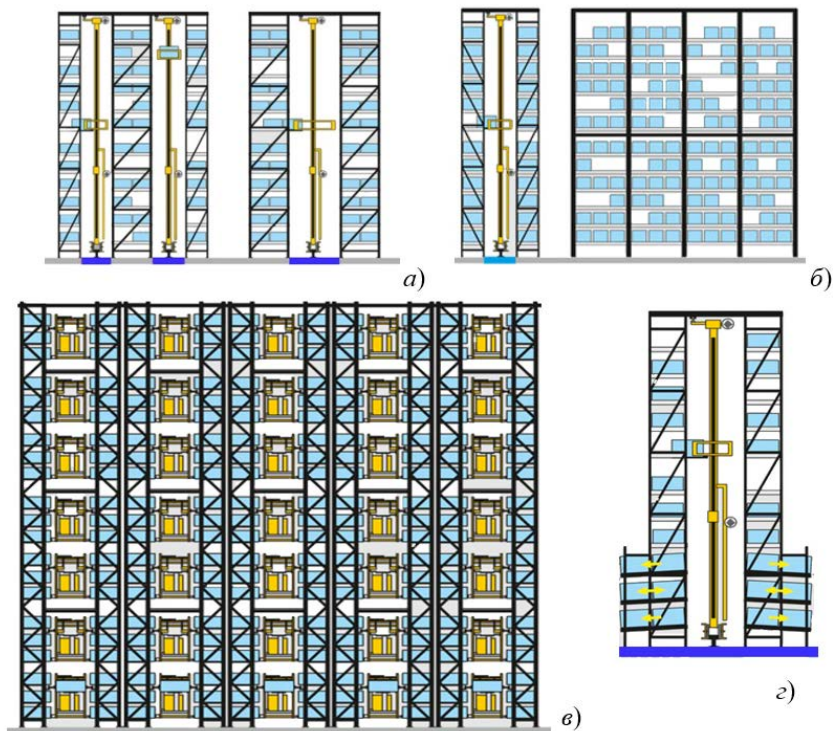


Рис. 1. Типи складських систем:
 а) однопозиційна, б) багатопозиційна,
 в) шатлова складська система, г) інтегрований буферний запас

Стелажна система (рис. 1., в), з автоматизованою платформою (шатл), яка самостійно переміщує палети по напрямних углиб стелажа. Шатл оснащений датчиками й управляється за допомогою пульта дистанційного керування. Як і гравітаційні стелажі, дані системи розраховані на зберігання 1 SKU в каналі.

Практично необмежена довжина каналу і можливість повноцінно працювати не тільки за принципом FIFO, а й LIFO, робить шатлові стелажі одними з найактуальніших рішень логістики останніх років. Це ідеальне поєднання місткості й функціональності.

Масовими можуть бути прості рішення для руху товарів, а саме: транспортні конвеєри, ліфти, каруселі, AS/RS системи, системи вагового контролю та роботизацію операцій, які не потребують наявності WMS системи та складної логіки.

Середньостатистичне замовлення за кількістю SKU (Stock Keeping Unit) постійно зростає, що провокує попит на рішення вагового контролю, світлового відбору та підбору за допомогою голосових команд. Ці системи дозволяють обробляти та підготовляти замовлення у напівавтоматичному режимі, зменшуючи кількість помилок підбору та комплектації, а також збільшуючи продуктивність комплектувальників. Останні дослідження показують, що автоматизація нескладних повторюваних операцій звільняє людину для дійсно важливих завдань, заощаджуючи час та кошти.

Список посилань

1. Валецький Б.П. Сучасні принципи побудови контейнерних майданчиків складських терміналів / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 58. – Луцьк, 2017. – С.50-55.
2. Валецький Б.П. Механотроніка складу / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 66. – Луцьк, 2019. – С.46-52.

Конструкція модернізованого пневмопістолета для розпилення рідин

Васильєв Євген ¹[0000-0001-5133-3989], Попов Станіслав ²[0000-0003-2381-152X]

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
Першотравневий проспект, 24, Полтава, 36011, Україна
vas.eugene@gmail.com

² Полтавський державний аграрний університет,
вул. Сковороди, 1/3, Полтава, 36003, Україна,
stanislav.popov@pdaa.edu.ua

Анотація. Висвітлена тематика є дуже актуальною в сучасному світі. Розпилювання рідин є важливим процесом у багатьох галузях, таких як автомобільна, електронна, аерокосмічна, харчова і фармацевтична промисловості.

Одним з основних інструментів для розпилювання рідин є пневматичні пістолети, які використовують стиснене повітря, щоб створити потік рідини. З метою покращення продуктивності і якості розпилювання, необхідно постійно модернізувати і вдосконалювати їх конструкції.

Проведені зміни в конструкції дозволять зменшити витрати енергії та знизити викиди в атмосферу, що в свою чергу позитивно вплине на стан довкілля та здоров'я людей.

Ключові слова: пневмопістолет, рідина, розпилення.

1. Актуальність запропонованої конструкції

Для збереження зовнішнього вигляду автомобіля, а також для забезпечення стійкості до появи корозії, необхідно проводити своєчасну антикорозійну обробку. Для цього можна скористатися пневмопістолетом для розпилення рідин [1]. Він дозволяє виконувати роботи по нанесенню будь-яких захисних покриттів на основі органічних і неорганічних матеріалів, до того ж він має доступну вартість. Але його конструктивне виконання не передбачає застосування матеріалів, які мають підвищену густину. Для застосування цих матеріалів необхідно густину зменшувати шляхом їх розведення [2, 3], що обмежує продуктивність виконання робіт.

Нами запропоновано доопрацювати конструкцію пневмопістолета шляхом утворення надлишкового тиску у місткості 5 (див. Рис. 1). На рисунку наведена вдосконалена конструкція з додатковим патрубком 2, підведеним від повітропроводу 1 форсунки до кришки місткості 5 із

сумішшю, який під'єднується до штуцера 6. При затиску курка 9 клапан 8 відкривається, надаючи повітрю змогу пройти до повітропроводу 1, створюючи розрідження в накінецьнику 7, тим самим всмоктуючи до нього суміш з місткості 5. У той же час через додатковий патрубок 2 подається повітря, створюючи тиск в місткості 5, яке виштовхує суміш через всмоктувальний патрубок 4 до головного патрубку 3. Надлишковий тиск повітря з місткості 5 контролюється отвором 11.

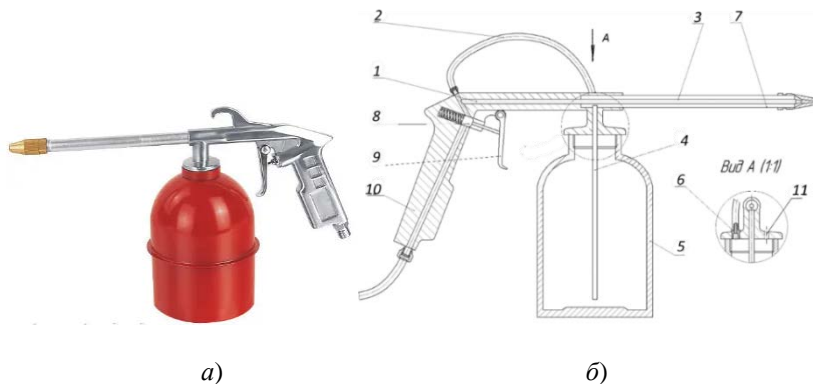


Рис. 2. Пневмопістолет для розпилення рідин:
а) зовнішній вигляд; б) схема модернізованої конструкції.

Доопрацьована конструкція пневмопістолета для розпилення рідин дозволяє використовувати нетипові матеріали з підвищеною густиною, що дозволить покращити продуктивність виконання робіт із нанесення захисних покриттів на автомобілях та інших поверхнях.

Це дозволить знизити витрати на ремонт та збереження зовнішнього вигляду об'єктів. Отже, виконані зміни до конструкції пневмопістолета має важливу практичну цінність для вирішення проблем з корозією та збереженням зовнішнього вигляду об'єктів.

Список посилань

1. Пневмопістолет для розпилення рідин INTERTOOL PT-0704 [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1168706566-pnevmapistolet-dlyaraspulyeniya.html>
2. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. Підручник – К.: Вища шк., 2002. – 277 с.
3. McCarthy, M.J., Molloy, N.A. Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design. Chem. Eng. J. – 1974. – P. 1-20.

Отримання наночастинок золота з використанням екстракту жмиху винограду одержаного НЕР (низькотемпературним евтектичним розчинником)

Віннічук Катерина, Воробйова Вікторія

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Берестейський проспект (Перемоги), 37, Київ, 03056, Україна
vengerd18@ukr.net

Анотація. В роботі представлено «зелений» метод отримання наночастинок золота (НЧЗ) із використанням екстракту жмиху винограду, отриманого низькотемпературним евтектичним розчинником (НЕР) на основі проліну та молочної кислоти. Виноград містить багато поліфенольних сполук, які здатні відновлювати іони золота з утворенням колоїдних наночастинок. Представлений розчинник доступний, екологічно безпечний і не потребує видалення. Завдяки тому, що основою екстракту є НЕР, підвищується колоїдна стабільність нанозолота. Це пов'язано з тим, що сам розчинник є в'язким, а виноград містить різні сполуки, зокрема антоціани, які відіграють роль стабілізаторів колоїдної системи золота. Таким чином немає необхідності додавати стабілізатори – поверхнево активні речовини (додецилсульфат натрію), полімери (поліетилен гліколь), колоїдний кремнезем. Низькотемпературний евтектичний розчинник був синтезований за допомогою методу нагрівання, і для підтвердження утворення НЕР була проведена інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є (FTIR). Для характеристики складу екстракту винограду використовували метод розділення ВЕРХ (високоєфективна рідинна хроматографія), результати якої підтвердили високий вміст поліфенолів у ньому. Методом сканувальної електронної мікроскопії було охарактеризовано розмір та форму отриманих наночастинок золота.

Ключові слова: наночастинок золота, низькотемпературні евтектичні розчинники, біосинтез, пролін, молочна кислота.

1. Вступ

Функціоналізовані наночастинок золота з контрольованими геометричними та оптичними властивостями є предметом інтенсивних досліджень і біомедичних застосувань, включаючи геноміку, біосенсоріку, імунологічні аналізи, клінічну хімію та моніторинг клітин і тканин із застосуванням

найсучасніших систем детекції [1-3]. Отримання нанозолота з використанням рослинного екстракту є корисним не лише через його екологічність, але й тому, що його можна використовувати для виробництва наночастинок великої кількості. Рослинні екстракти в цьому процесі можуть діяти і як відновники, і як стабілізатори. До того ж, такий біосинтез стає все більш популярним завдяки сильній антибактеріальній дії наночастинок і легкому відновленню їх солей. Низькотемпературні глибокоектєктичні розчинники (НЕР) – це новий клас розчинників, що характеризується помітним зниженням температури плавлення порівняно з температурою плавлення вихідних компонентів. органічний синтез, електрохімія та біокаталіз. НЕР демонструє унікальні властивості, такі як біорозкладаність, іонний характер, висока провідність і низький тиск пари та нетоксичність. Отже такі розчинники є ідеальними для «зеленого» синтезу [3-4].

2. Експериментальна установка та процедура

DES синтезували нагріванням (при 60°C (водяна баня)) молочної кислоти та проліну. Для приготування екстракту до отриманого DES додавали порошок виноградних вичавок у співвідношенні розчинник/тверда речовина 10/1. Суміш поміщали в ультразвукову ванну з ультразвуковою входною потужністю 40 Вт і частотою 30 кГц. Параметри екстракції: температура 65°C, тривалість 60 хв. Потім екстракт декантували і фільтрували через паперовий фільтр. Для синтезу НЧ золота. еквівалентні об'єми розчину екстракту та 0,01 М HAuCl_4 окремо нагрівали у скляних стаканах на водяній бані до температури 40°C. Потім розчин екстракту додавали до HAuCl_4 і залишали на водяній бані на 15 хв. Отриманий екстракт був характеризований ВЕРХ, а утворення НЕР доведено інфрачервоною спектроскопією з перетворенням Фур'є. НЧ золота були ідентифіковані та охарактеризовані за допомогою скануючої електронної мікроскопії [5].

3. Результати та обговорення

За допомогою методу ВЕРХ встановлено, що фенолкарбонові кислоти у екстракті винограду представлені сполуками: галова кислота, протокатехінова кислота, п-гідроксibenзойна кислота, кутарова кислота, кавова кислота, епікатехін, сиринова кислота, і р-кумарова кислота. Отримані результати добре узгоджуються з літературними даними щодо фенольного складу виноградних вичавок. Таким чином, аналіз складу екстрактів виноградних вичавок вказує на те, що вони містять органічні речовини і тому є потенційною сировиною для використання як відновник, а також є особливо перспективними для виробництва нанорозмірного матеріалу [5]. СЕМ-аналіз підтвердив утворення наночастинок сферичної форми та дозволив виміряти їх середній розмір. На рис.1 представлено СЕМ-зображення НЧ золота,

отриманих із використанням екстракту на основі системи пролін-молочна кислота. Розмір частинок лежить в межах 6,5-9,1 нм, а середній становить 7,2-7,6 нм. Вони мають високу дисперсність і приблизно однакові розміри. Це може свідчити про те, що отримана колоїдна система стабільна.

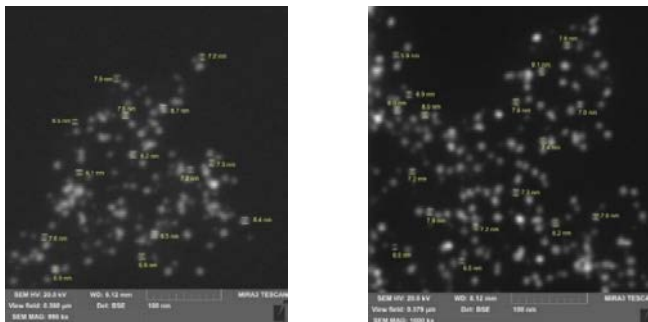


Рис. 1. СЕМ-зображення НЧ Au

4. Висновки

Дослідження показує, що можна успішно синтезувати НЧ Au за допомогою екстракту виноградних вичавок на основі НЕР. Отриманий в роботі екстракт є не тільки джерелом органічних сполук, що відновлюють катіони золота, а й стабілізує утворену систему колоїдного золота, запобігаючи активної агломерації частинок. ВЕРХ довела, що екстракт багатий на поліфеноли, а аналіз СЕМ показав, що отримані наночастинки сферичні та в середньому мають розмір 7,2-7,6 нм.

Список посилань

1. Carnovale, Catherine, et al. "Impact of nanogold morphology on interactions with human serum." *Physical Chemistry Chemical Physics* 20.46 (2018): 29558-29565.
2. Kuppusamy, Palaniselvam, et al. "Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications—An updated report." *Saudi Pharmaceutical Journal* 24.4 (2016): 473-484.
3. Das, Nabojit, Akash Kumar, and Raja Gopal Rayavarapu. "The role of deep eutectic solvents and carrageenan in synthesizing biocompatible anisotropic metal nanoparticles." *Beilstein Journal of Nanotechnology* 12.1 (2021): 924-938.
4. Wagle, Durgesh V., Hua Zhao, and Gary A. Baker. "Deep eutectic solvents: sustainable media for nanoscale and functional materials." *Accounts of chemical research* 47.8 (2014): 2299-2308.
5. Vorobyova, Victoria I. "Plant Extract Based on Deep Eutectic Solvent-Mediated Biosynthesis of Silver Nanoparticles: Cytotoxicity and Antibacterial Effects." *Bioinorganic Chemistry and Applications* 2023 (2023).

Синтез нанокomпозиційних порошкових систем на основі карбиду кремнію і МАХ-фази Ti_3SiC_2 та розробка композицій для сприйняття електромагнітних хвиль

Гадзира Микола, Давидчук Надія, Тимошенко Ярослав, Пінчук Микита

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ, 03142, Україна
dep14@ipms.kiev.ua

Анотація. Встановлено, що процес взаємодії між порошковими компонентами $SiC-TiH_2$ супроводжується утворенням фази карбосиліциду титану (Ti_3SiC_2 або МАХ-фази) з наноламінатною структурою. Спикання синтезованого порошку призводить до формування високих значень тріщиностійкості та твердості. Досліджено питомий опір створених матеріалів на основі Ti_3SiC_2 та їх взаємодія з електромагнітним полем.

Ключові слова: карбід кремнію, МАХ-фаза, питомий опір.

1. Вступ

Великий практичний інтерес з точки зору створення матеріалів для майбутнього застосування в машинобудуванні викликають так звані МАХ-матеріали, отриманню та властивостям яких зосереджена увага в серії публікацій [1-4]. Серед багатьох МАХ-фаз, синтезованих до теперішнього часу, найбільший інтерес з позицій рівня їх властивостей представляють МАХ-фази на основі титану – Ti_2AlC , Ti_2AlN , Ti_3AlC_2 і особливо Ti_3SiC_2 . Це обумовлено тим, що в системі $Ti-Si-C$ синтезовані відразу кілька МАХ-фаз з складами $M_{n+1}AX_n$ і $M_{n+1}A_mX_n$. Матеріали на основі шаруватих МАХ-фаз або наноламінатна кераміка – новий вид легкообробної конструкційної кераміки, яку можна використовувати в багатьох областях техніки, і особливо при роботі в екстремальних умовах.

Метою даної роботи є створення нанокomпозиційних порошкових систем на основі МАХ-фази Ti_3SiC_2 та розробка композицій для взаємодії з електромагнітним випромінюванням.

2. Експериментальна частина

Як компоненти синтезу нанокomпозиційного порошкового матеріалу використовували порошок нанорозмірного нестехіометричного карбиду кремнію (твердий розчин вуглецю в карбіді кремнію) [5], та порошок гідриду титану.

Формування порошкових сумішей в системах SiC–TiH₂ проводили в кульовому млині типу «рольганг» в фарфоровому барабані з використанням твердосплавних кульок.

Нагрівання порошкової суміші проводили в середовищі аргону в індукційній печі при 1400°C протягом 1 години. При цьому відбувається процес повної дегідратації TiH₂ та формування багатофазного складу. Процес взаємодії між порошковими компонентами супроводжується екзотермічною реакцією та утворенням фази карбосиліциду титану (Ti₃SiC₂ або МАХ-фази) з наноламінатною структурою та фаз карбиду та силіцидів титану.

Синтезований композиційний порошок має агломеровану високодисперсну структуру. Максимальний розмір агломератів не перевищує 10-15 мкм. Зображення частинок порошку при високих збільшеннях свідчать про його композиційний склад, структура яких сформована із високодисперсних фаз карбосиліциду, карбиду та силіцидів титану.

Гаряче пресування отриманих композиційних порошків виконували в індукційній печі на установці гарячого пресування СПД-120 з використанням графітової прес-форми. Питомий тиск не перевищував 35 МПа, а температура 1300-1420 °С.

Рентгенофазовим аналізом встановлено, що гаряче пресування композиційного порошку (56,8Ti₃SiC₂18,7TiSi₂13,7TiC10,8Ti₅Si₃) (% (мас.)), синтезованого у системі 30 SiC–70 TiH₂ (% (мас.)), призводить до зміни вихідного багатофазного складу. Відбувається перерозподіл фаз з домінуючим вмістом карбиду титану. В процесі гарячого пресування фаза карбосиліциду титану (Ti₃SiC₂) частково розпадається на титан, кремній та вуглець:



Титан є хімічним активним елементом, який реагує з вуглецем і кремнієм, створюючи карбід та силіцид титану:



Високі характеристики одержаної кераміки свідчать, що поєднання високих значень твердості (HV_{10,0} = 14,5 ГПа) та тріщиностійкості (K_{1C} = 10,5 МПа·м^{1/2}) є наслідком формування щільної та високодисперсної нанокomпозиційної структури.

Синтезовані композиційні порошки на основі МАХ-фази (Ti_3SiC_2) додавали до нанорозмірного порошку твердого розчину вуглецю в карбіді кремнію для дослідження їх поведінки під дією електромагнітного поля. Зразком для дослідження був вибраний синтезований порошок з оптимальним складом ($44,0TiC39,8Ti_3SiC_29,8Ti_5Si_36,4TiSi_2$) (% (мас.)) (надалі лігатура), який додавали до карбіду кремнію у співвідношенні 40 SiC–60 Лігатура.

Спикання зразків виконували в печі опору при температурі 1000 °С протягом 1 години у вакуумі. Розрахунки питомого опору зразків в порівнянні з іншими матеріалами представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Питомий опір досліджуваних матеріалів

№	Матеріал % (мас.)	Технологія одержання	Питомий опір, ρ , Ом·м
1	40 SiC–60 Лігатура	Вільне спікання в вакуумі	$7,20 \cdot 10^{-5}$
2	Лігатура	Гаряче пресування	$27,0 \cdot 10^{-8}$
3	Графіт ЕГ-0	Високотемпературна графітизація	$9,40 \cdot 10^{-5}$
4	Алюміній технічний	Виплавка зливків	$3,2 \cdot 10^{-8}$

Встановлено, що питомий опір сформованих зразків на основі карбіду кремнію та МАХ фази Ti_3SiC_2 переважає показники питомого опору графіту, що використовується в якості нагрівного елемента в індукційних печах, в яких за рахунок електромагнітного поля створюється нагрів. Характеристики таких індукційних печей залежать від електричного опору нагрівних елементів.

Використання в якості нагрівного елемента композиційної кераміки складу 40 SiC–60 Лігатура в індукційній печі дозволяє здійснити швидкісний нагрів до 1800°С за потужності 40 кВт протягом 20 хв. Нагрівник із графіту ЕГ-0 дозволяє досягнути такої ж температури протягом 25 хв за тієї ж потужності.

Список посилань

1. Faber L., Barsoum M. W., Zavaliangos A., El-Raghy T. Dislocations and stacking faults in Ti_3SiC_2 . *J. Am. Ceram. Soc.* 1998. No. 6. P. 1677-1681.
2. Barsoum M. W. The $M_{n+1}AX_n$ phases: A new class of solids. Thermodynamically stable nanolaminates. *Prog. Solid State Ch.* 2000. No. 28. P. 201-281.
3. Barsoum M. W., El-Raghy T., Radovic M. Ti_3SiC_2 : A layered machinable ductile carbide. *Intereram.* 2000. Vol. 49, No. 4. P. 226-233.
4. Li J. F., Pan W., Sato F., Watanabe R. Mechanical properties of polycrystalline Ti_3SiC_2 at ambient and elevated temperatures. *Acta Mater.* 2001. No. 49. P. 937-945.
5. Gadzyna M. P., Gnesin G. G., Mykhaylyk O. O., Britun V., Andreyev O. V. Solid solution of carbon in β -SiC. *Materials Letters.* 1998. Vol. 35. P. 277-282.

Технологія виготовлення виробів з використанням шламових відходів підшипникового виробництва

Гальчук Тетяна ^[0000-0003-3474-9848]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
t.halchuk@lntu.edu.ua

Анотація. У роботі проведено дослідження структури та механічних властивостей композиційних матеріалів на основі порошку сталі ШХ15, отриманого переробкою шліфувальних шламових відходів підшипникового виробництва. Розглянуто вплив технологічних параметрів процесу на стадіях отримання порошку сталі, пресування і спікання на механічні і триботехнічні властивості спечених матеріалів. Дослідження механічних властивостей композитів з добавками міді та графіту дозволили встановити оптимальні параметри пресування, спікання і склад компонентів шихти, які забезпечують найкраще поєднання властивостей міцності, триботехнічних характеристик даних матеріалів. Наявність графіту в таких матеріалах забезпечує ефективну змащувальну дію. Регульована пористість дозволяє успішно використовувати рідке змащення, яке заповнює пори і, в міру зношування металу, витискається на поверхню спряження. Крім цього, у деталях високонавантажених вузлів тертя, що виготовлені із спечених матеріалів, зменшується коефіцієнт тертя, зростає твердість композиту, яка позитивно впливає на навантажувальну здатність.

Ключові слова технологія, виріб, властивості.

Аналіз основних видів вторинних ресурсів – відходів підприємств металообробки – показує, що основну масу металовідходів складають: стружка, шліфувальний шлам, окалина – потенційні джерела сировини для виробництва металопорошків. На заводах знаходять застосування лише технології утилізації стружки та прокатної окалини металургійних підприємств. Практично не утилізуються шліфувальний шлам, що утворюється під час шліфування в цехах машинобудівних підприємств. Десятки тисяч тонн цих відходів вивозяться на полігони тривалого зберігання, що призводить до забруднення ґрунту та гідросфери важкими металами. Водночас, як вихідна сировина – шліфувальні шлами мають перевагу: високий вміст металу; наявність легуючих добавок; невеликий ступінь окислення металевих частинок; відсутність необхідності додаткового подрібнення металевих частинок, які є в шламі, через їхню досить високу дисперсність.

У зв'язку з цим дуже актуальним стає вирішення питань щодо залучення у виробництво порошків диспергованих металовідходів та виготовлення на їх основі порошкових виробів конструкційного, антифрикційного і фрикційного

призначення, деталей електротехнічної промисловості. Найбільш доцільним, з цієї точки зору, є виготовлення деталей простої форми серійного виробництва, наприклад, таких як втулки ковзання, підшипники ковзання, контакти струмоприймачів тощо.

Мета роботи – розробка нової ресурсозберігаючої технології виготовлення виробів порошкової металургії на основі вторинної сировини, що є відходами металообробних підприємств.

Запропоновано технічні вирішення проблеми екологізації господарської діяльності підприємств металообробки на базі розвитку технологій з утилізації диспергованих металовідходів у порошкові матеріали з подальшим виготовленням з них спечених порошкових виробів [1].

Розроблено нову технологічну схему переробки підшипникового шламу для отримання якісного металевого порошку з частинками регулярної форми та розмірів [2]. Порошки сталі ШХ15, отримані за розробленою схемою, мають у 1,5 рази вище технологічні властивості порівняно з аналогічними порошками, отриманими за традиційною технологією.

На основі одержаного порошку сталі ШХ15 розроблено антифрикційний матеріал для втулки ковзання [3], що складається з порошоків (основа) сталі ШХ15, 3...8 % (об.) міді ПМС-1 та 1...3% (об.) графіту ГС4.

Втулки пресували у прес-формах з наступним спіканням заготовок за класичною технологічною схемою в порошковій металургії [3]. За цією схемою виготовляють матеріали з пористістю 15...35 %, яка є оптимальною для антифрикційних спечених виробів, що працюють у навантаженому режимі.

Для знаходження оптимального режиму спікання, з ціллю досягнення максимальної густини спечених виробів, використовувався метод математичного планування експерименту. Параметр оптимізації – густина матеріалів після спікання, а варіювалися: час витримання при спіканні X_1 (хв.), температура спікання X_2 ($^{\circ}\text{C}$), швидкість підняття температури X_3 ($^{\circ}\text{C}/\text{хв}$), склад суміші X_4 (% мас.).

В результаті реалізації всіх дослідів матриці планування і обробки дослідних даних складено рівняння регресії:

$$Y=6,4+0,25X_1+0,31X_2+0,34X_1X_2-0,09X_2X_3$$

Аналізуючи отримане рівняння можна передбачити густину, що отримується для різних значень факторів варіювання (рис. 1).

На основі проведеного аналізу вибрано оптимальний режим спікання: температура – 1200 $^{\circ}\text{C}$, час спікання – 2 год, швидкість нагрівання – 40 $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

Експериментально встановлено, що основний вплив на збільшення густини зразків разом мають такі фактори: склад і температура спікання, температура і час витримки, в меншій мірі швидкість підняття температури. Збільшення температури спікання до 1250 $^{\circ}\text{C}$ призводить до зростання усадки на 5,41%, а пористість матеріалу залишається високою, в межах 30%, що зумовлено особливою формою частинок отриманого порошку, сталі ШХ 15 [4].

Під час дослідження впливу технологічних умов спікання на триботехнічні властивості зразків встановлено, що причиною високого зношування спеченої сталі ШХ15, в разі сухого тертя, є низька активність процесу твердофазного спікання під час отримання матеріалу. Температура спікання не має істотного впливу на величину зносу.

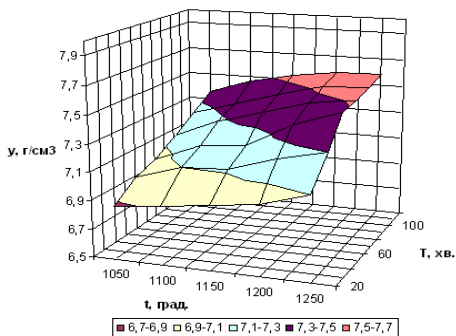


Рис. 1. Поверхня відгуку залежності густини матеріалу після спікання від часу і температури спікання

В результаті дослідження після 10500 циклів, зношування експериментальної втулки на основі порошку сталі ШХ15 не виявлено, а лінійне зношування серійної втулки становить 5 мкм. Це засвідчує, що антифрикційні властивості експериментального композиту не поступаються традиційному ЖГрД і мають більш високі характеристики міцності.

Промисловими випробуваннями підтверджено, що міцність та надійність втулок ковзання відповідає чинним стандартам, а ресурс в експлуатаційних умовах збільшується у 2 рази.

Список посилань

1. Rud', V.D., Gal'Chuk, T.N., Povstyanoi, A.Yu. Powder metallurgy use of waste from bearing production / V.D. Rud', T.N. Gal'Chuk, A.Yu. Povstyanoi // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2005. – Volume 44. – P. 88-92.
2. Гальчук Т.Н. Розробка технології отримання металічного порошку для виготовлення виробів машинобудівного виробництва / Т.Н. Гальчук // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник. – 2012. – Випуск 38. – С. 25-30.
3. Гальчук Т.Н. Триботехнічні характеристики композитів на основі порошку сталі ШХ15, отриманих із відходів машинобудування / Т.Н. Гальчук // «Проблеми трибології». – 2012. – № 3. – С. 81-86.
4. Gal'Chuk, T.N, Rud', V.D. Kinetics of ball-mill grinding of powders produced from bearing-production waste / V.D. Rud', T.N. Gal'Chuk // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2011. – Volume 50. – P. 262-267.

Прогнозування складу карбідів в ливарному жароміцному нікелевому сплаві

Глотка Олександр^[0000-0002-3117-2687], Беліков Сергій^[0000-0002-9510-8190],
Ольшанецький Вадим^[0000-0002-9485-4896], Ссауленко Сергій

Національний університет «Запорізька політехніка»,
вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, 69063, Україна
glotka-alexander@ukr.net

Анотація. Робота присвячена використанню рентгенівської спектроскопії у дослідженні специфіки розподілу легуючих елементів у структурних складових монокристалічних жароміцних нікелевих сплавів, а саме між первинними карбідами, оскільки роль карбідів у формуванні властивостей цих сплавів є складною. Діяльність проводиться теоретичне моделювання термодинамічних процесів виділення надлишкових фаз з допомогою методу CALPHAD. А також практичне дослідження структури та розподілу хімічних елементів у карбідах залежно від легування сплаву з використанням растрового електронного мікроскопа РЕМ-106І. Встановлено, що в типових карбідах, для системи Ni-11,5Cr-5Co-3,6Al-4,5Ti-7W-0,8Mo-0,06C, є тенденція до переродження і фазових реакцій залежно від рівня легування заданими елементами. Встановлено математичні залежності впливу легування сплаву на температури виділення (розчинення) карбідів та зміну хімічного складу сплаву на вміст елементів у карбідах. При збільшенні вмісту титану більше 5% та танталу понад 7% утворюється σ -фаза. Виявлено, що при вмісті 4% танталу у сплаві первинні карбіди змінюють основу. Виявлено, що збільшення гафнію понад 0,1% призводить до зміни основи первинних карбідів із титану на гафній. Також встановлено, що концентрація танталу повинна бути в межах від 4 до 7%, що пояснюється складом карбідів та утворенням σ -фази. Отримані залежності були експериментально підтверджені з використанням рентгенівської спектроскопії на жароміцних сплавах на основі нікелю. Рекомендується використовувати отримані математичні моделі не тільки при проектуванні нових жароміцних сплавів на основі нікелю, а і при вдосконаленні відомих марочних композицій у межах заявлених концентрацій.

Ключові слова: карбід, жароміцний сплав, структура.

Роль карбідів дуже складна в жароміцних нікелевих сплавах (ЖНС). Вони впливають на механічні властивості залежно від їхньої морфології та розподілу. Для монокристалічних сплавів характерною є наявність первинних карбідів сферичної, блокової або шрифтової морфології [1-3]. Основними методами дослідження таких тонких структур є рентгенівська спектроскопія, яка повною мірою дає змогу визначити основні характеристики [4-6].

Результати розрахунку фазового складу, отримані згідно з залежностями, надалі порівнювали з експериментальними даними, отриманими за допомогою електронної мікроскопії в режимі мікрозондування на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І. На рисунку 1 наведено типову морфологію карбідів, залежно від кількості танталу у сплаві. Виявлено, що карбіди виділяються з різною морфологією типовою для первинних виділень у вигляді грубої кубічної (блокової) та ієрогліфів (скриптів). Розмір первинних карбідів практично залежить від кількості танталу в металі (рис. 1).

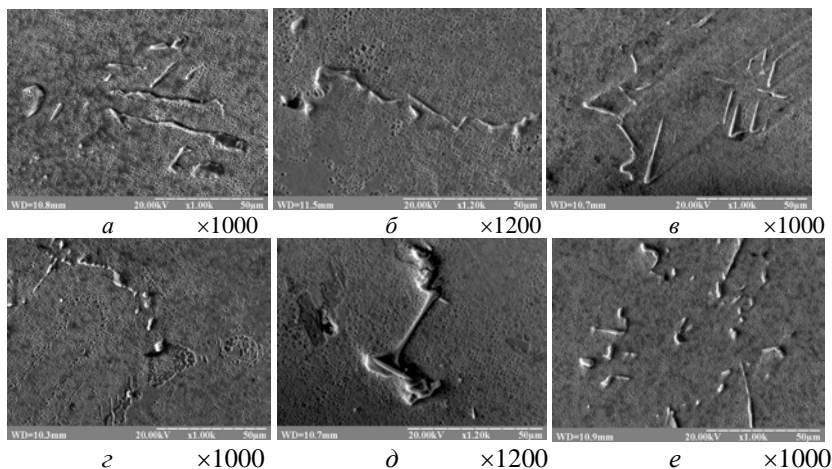


Рис. 1. Морфологія карбідів в структурі сплаву системи
Ni-11,5Cr-5Co-3,6Al-4,5Ti-7W-0,8Mo-0,06C:

a – 0%Ta; *б* – 1%Ta; *в* – 2%Ta; *г* – 3%Ta; *д* – 4%Ta; *е* – 5%Ta.

Хімічний склад карбідів, експериментально визначали методом рентгеноспектрального мікроаналізу за допомогою якого фіксували інтенсивність рентгенівського випромінювання в залежності від енергії кЕв. Експериментально встановлено, що до складу карбідів входять титан, тантал, вольфрам, молібден, кобальт і хром у наступних співвідношеннях із розрахунковими значеннями. Похибки визначення елементів даним методом не перевищував 1% за масою.

У таблиці 1 показано, що розрахункові та експериментальні дані добре узгоджуються між собою практично за всіма елементами. Встановлено, що при вмісті в сплаві 4% Ta спостерігається зміна основи карбиду з титану на тантал (концентрація танталу в карбіді перевищує 50%). Спостерігається зниження кількості вольфраму в карбіді менше 10% і зростання хрому та молібдену до 1%, що пояснюється як взаємозамінність цих елементів у кристалічних ґратах. Збільшення танталу до 5% у сплаві збільшує його концентрацію в карбіді понад 60% та знижує титан нижче 20%. Такий розподіл елементів у карбідах можна пов'язати з властивостями матеріалу, зокрема в роботі 27 вказується, що

оптимальні властивості сплав отримує при введенні 4%Ta. Це не лише зміною складу карбїду, а й перебігом інших структурних перетворень у метали.

Таблиця 1. Зміна складу карбїдів в залежності від вмісту танталу в сплаві

Метод отримання результатів	Вміст елементу, % за масою						
	Ti	Ta	Cr	Co	Mo	W	C
		0%Ta					
Розрахунковий	55.66	-	0.6	-	0.14	28.69	14.92
Експериментальний	57.7	-	0.28	0.3	3.5	23.3	14.92
		1%Ta					
Розрахунковий	48.85	13.49	0.54	-	0.12	23.16	13.83
Експериментальний	45.01	21.46	0.23	0.25	0.95	18.3	13.8
		2%Ta					
Розрахунковий	42.02	27.09	0.45	-	0.13	17.63	12.68
Експериментальний	46.59	21.42	0.27	0.15	0.75	17.2	13.62
		3%Ta					
Розрахунковий	35.8	39.14	0.36	-	0.1	12.89	11.68
Експериментальний	33.91	45.05	0.34	0.16	0.6	8.26	11.68
		4%Ta					
Розрахунковий	28.6	51.5	0.27	-	0.08	8.99	10.53
Експериментальний	23.61	54.28	1.15	0.36	1.08	8.99	10.53
		5%Ta					
Розрахунковий	23.83	60.22	0.2	-	0.07	5.84	9.75
Експериментальний	19.01	63.68	1.05	0.25	0.4	5.86	9.75

Таким чином, розрахункові дані, отримані CALPHAD-методом визначення типу і хімічного складу карбїдів, показали хорошу збіжність і узгодженість з експериментальними даними, отриманими методом електронної мікроскопії.

Список посилань

1. Kvasnytska, Y.H., Ivaskevych, L.M., Balytskyi, O.I. et al. High-Temperature Salt Corrosion of a Heat-Resistant Nickel Alloy. *Mater Sci* 56, 432-440 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00447-5>
2. Yang, S., Yun, J. & Seok, C.S. Rejuvenation of IN738LC gas-turbine blades using hot isostatic pressing and a series of heat treatments. *J Mech Sci Technol* 34, 4605-4611 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12206-020-1018-2>
3. Yin, B., Xie, G., Jiang, X. et al. Microstructural Instability of an Experimental Nickel-Based Single-Crystal Superalloy. *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)* 33, 1433-1441 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40195-020-01057-5>
4. Pandey, A., Hemker, K.J. Temperature Dependence of the Anisotropy and Creep in a Single-Crystal Nickel Superalloy. *JOM* 67, 1617-1623 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1414-8>
5. Chai, L., Huang, J., Hou, J. et al. Effect of Holding Time on Microstructure and Properties of Transient Liquid-Phase-Bonded Joints of a Single Crystal Alloy. *J. of Materi Eng and Perform* 24, 2287-2293 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11665-015-1504-3>

Особливості аналізу напружено-деформованого стану кузовів міських автобусів

Голенко Костянтин^{1[0000-0002-6140-4573]}, Войчишин Юрій^{2[0000-0001-7004-0567]},
Посонський Сергій^{1[0000-0002-4697-7699]}

¹ Хмельницький національний університет,
вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна

² Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери 12, Львів, 79013, Україна
kgolenko@gmail.com

Анотація. Формування крайових умов для аналізу напружено-деформованого стану каркасу кузова міських автобусів в умовах статичного навантаження є важливим етапом проектування нових моделей. На відміну від показників пасивної безпеки (визначення зон деформації тощо), напруження згину та кручення каркасу кузова присутні у ньому протягом усього періоду експлуатації, тому визначення запасу міцності конструкції та оцінка її загальної рівномірності є актуальною проблемою досліджень.

Ключові слова: каркас кузова, міцність, рівномірність, жорсткість на кручення, напруження по Мізесу, деформації, переміщення, згин.

1. Третичні відомості

При аналізі статичної міцності кузовів автобусів має враховуватися запас міцності, виходячи з такої умови:

$$\sigma_T \geq \sigma_c n(1 + K_d), \quad (1)$$

де: σ_T – межа текучості матеріалу; K_d – номінальний коефіцієнт динамічності; $n(1 + K_d) = C_d$ – сумарний коефіцієнт динамічності.

Для автобусів міського класу типу Low-entry та Low-floor сумарний коефіцієнт динамічності C_d приймають рівним 2,0-2,5. Фактично величина коефіцієнту $C_d = 2,5$ означає, що кузов автобуса має витримати напруження в межах текучості матеріалу, які виникають при зростанні його повної підресореної маси у 2,0-2,5 рази. Інакше кажучи, маса вузлів та агрегатів при статичного навантаженні повинна бути подвоєна. Такий коефіцієнт динамічності стосується розрахункового випадку «статичний згин», коли автобус спирається на поверхню усім колесами (рис. 1).

Сумарне навантаження для режиму згину можна записати так:

$$\sum P_3 = C_d m_{п} g \text{ або } \sum P_3 = m_{п} g \text{ при } C_d = 1, \quad (2)$$

де: $m_{п}$ – повна маса автобуса, кг.

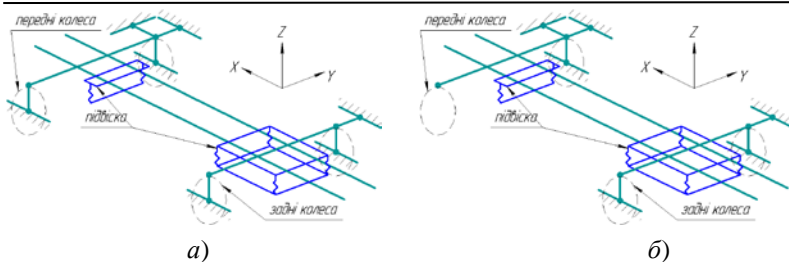


Рис. 1. Розрахункова схема:

а) – режим згину; б) – вивішування лівого переднього колеса

Сумарне навантаження для режиму згину можна записати так:

$$\sum P_3 = C_d m_{пг} g \quad \text{або} \quad \sum P_3 = m_{пг} g \quad \text{при} \quad C_d = 1, \quad (3)$$

де: $m_{пг}$ – повна маса автобуса, кг.

2. Практичні результати

За результатами проведення розрахунків методом кінцевих елементів можна отримати цінні відомості щодо рівномірності каркасу кузова (рівномірність розподілу напружень), коефіцієнту запасу міцності відносно межі текучості, деформацій (пружних (рис. 2) або пластичність в разі перевищення межі текучості), інші показники

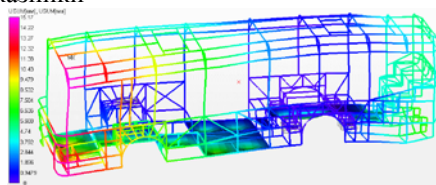


Рис. 1. Карта деформацій каркасу кузова автобуса Low-entry

Список посилань

1. Yao, Chung & Yang, Mengjie. (2021). Analysis of Strength Stiffness and Modes for Bus Body Frame. Journal of Physics: Conference Series. 1748. 062073. 10.1088/1742-6596/1748/6/062073.
2. Jing, K., Chen, J.X., Wu J. (2018) Modal analysis of bus body frame based on Hyperworks. J. Agricultural Equipment & Technology., 2: 54-57.
3. Голенко К.Е., Крайник Л.В. (2008). Особливості формування несівних структур каркасу автобуса типу low-entry у Віснику НУ “Харківський політехнічний інститут”, с. 152-157с.
4. Zhuo Yang, Baoqing Deng, Mengqi Deng and Gongrui Sun. (2018). A Study on Finite Element Analysis of Electric Bus Frame for Lightweight Design. MATEC Web of Conferences 175, 03049, IFCAE-IOT 2018.

Дослідження властивостей структури матеріалів з включеннями

Головко Віктор¹[0000-0002-2117-0864], Красіков Ігор²[0009-0009-4802-7951],
Красікова Ірина²[0009-0004-5565-5319], Штофель Ольга^{1,3}[0000-0003-0965-6340]

¹ Інститут електрозварювання ім.С.О. Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича, 11, Київ, 03150, Україна

² Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ, 03142, Україна

³ КПІ ім. Ігоря Сікорського, пр. Перемоги 37, Київ, 03056, Україна
kiv@ipms.kiev.ua

Анотація. При дослідженні металу вивчають низку різних властивостей: фізичні, хімічні, технологічні, механічні та експлуатаційні. Від неметалевих включень багато в чому залежать як технологічні, так і механічні та експлуатаційні властивості сталі. Неметалеві включення проявляють себе у локальних процесах, які відбуваються в металевій матриці, таких як зародження та розвиток мікротріщин, а також у формуванні структурних зерен та фазового складу сталі. Одним із сучасних запропонованих методів, який активно застосовується до питань діагностики металевих конструкцій є метод фрактального аналізу. За допомогою методу шукають взаємозв'язки між фрактальними, структурними, механічними та іншими властивостями. Метод фрактального аналізу застосовують до структури металу (як до макроструктури, так і до мікроструктури).

Ключові слова: фрактальний аналіз, механічні властивості, структура, включення, метал.

1. Вступ

Одним із нагальних питань є вплив неметалевих включень на якість зварного з'єднання та металу в цілому. При огляді літератури було виявлено наявність неоднозначного підходу до впливу неметалевих включень на показники металу. В одних випадках розглядають питання щодо шляхів зниження вмісту неметалевих включень у зварному з'єднанні, а в інші щодо введення додаткових неметалевих включень певного складу. Виникають питання і щодо отримання таких включень, форма і розміри яких не впливали б істотно на якість шва. Отже, актуальність даної роботи полягає у розширенні бази знань щодо впливу неметалевих включень у структурі металу на механічні характеристики зразку.

2. Експеримент

Методи фрактального та металографічного аналізів були застосовані до зразків зварних швів, отриманих при багатопрохідному зварюванні стикових з'єднань сталі 09Г2 дротом Св-08ГНМА в середовищі захисного газу М21. Окрім отримання фрактальних характеристик зразків за їх двовимірними зображеннями, також було розраховано і структурні властивості включень, такі як розміри включень, відстані між включеннями та їх розподіл в металевій матриці, а також визначено розподіл включень за розмірами за допомогою критерію Пірсона, а також за допомогою авторської програми "Fraculator" [1].

Досліджували зразки металу зварних швів, які були отримані в процесі зварювання, як із додаванням інокулянтів (додаткових неметалевих включень) та без них. Однією з основних задач є визначення щільності розподілу включень в металевій матриці, впливу інокулянтів на характер розподілу та розмір включень тощо.

Впродовж останніх років для досліджень включень було запропоновано низку підходів [2, 3], одним із яких є програма Fraculator. Програма призначена для визначення мультифрактальних характеристик структур за їх двовимірними зображеннями, отриманими методами оптичної та електронної мікроскопії, вона успішно була спробувана на дослідженні інших структур матеріалів, наприклад, для горячопресованих нанокompозитів $AlB_{12}-AlN$ [4].

Зразки оптичного зображення поверхні нетравлених шліфів були отримані для аналізу включень, їх розмірів та характеру розподілу. В зв'язку з розширенням запитів щодо досліджування включень, постало питання вдосконалення програми Fraculator та доповнення її можливостей, оскільки окрім фрактальних характеристик важливою складовою при вивченні властивостей структурних складових є не тільки фрактальні властивості структури та включень, а й традиційні стереометричними характеристики [5], а також розподіл та скупченість включень відповідних розмірів.

3. Програмне забезпечення

Розроблена нова версія програми застосовує алгоритм рекурсивного обходу пікселей області включення на зображенні. Статистичні та стереометричні характеристики включень розраховуються виходячи з припущення круглої форми включень.

Після розрахунку розмірів включень програма будує гістограми розподілу включень за площею та розміром. Така гістограма використовується як основа для розрахунку значення χ^2 критерію Пірсона [6], яке використовується для перевірки належності отриманої вибірки до одного

з попередньо визначених типів розподілу. Програма також надає можливість фільтрувати шуми на зображенні (наприклад, окремі пікселі, які вносять значне зміщення в гістограми під час вивчення розподілів за розмірами включень та відстанями між ними), а також дозволяє користувачам створювати діаграми з різною кількістю стовпців.

4. Висновки

З отриманих у програмі гістограм видно, що зразок із інокуляторами має наявні включення великого розміру в порівнянні із зразком без них, проте, якісний програмний аналіз дає можливість знайти відповідні кореляції між розподілами включень у площі шліфа, фрактальними розмірностями та механічними характеристиками відповідних зразків. Успішна апробація програми на прикладному застосуванні для зміни властивостей засобами введення інокулянтів може надати дослідникам потужний інструмент для аналізу властивостей структур інших матеріалів і має потенціал для сприяння розробки нових матеріалів (включаючи наноматеріали) з прогнозованими властивостями.

Список посилань

1. Красіков І.В. та ін. Комп'ютерна програма «Fractulog 2». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №115438. Україна, 25.10.2022.
2. Штофель О.О., Короленко Д.Ю., Головка В.В. Пришвидчення обрахунку неметалічних включень на шліфі. The 11th International scientific and practical conference "Actual problems of learning and teaching methods" (December 06-09, 2022) Vienna, Austria. International Science Group. 2022. 567-570 p.
3. Штофель О.О., Короленко Д.Ю., Головка В.В. Вирішення питання тривалості обробки даних у задачах металознавства. Матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 15-16 листопада 2022 р.) / [редкол.: О. Патряк та ін.]; ГО "Наукова спільнота"; WSSG w - Przeworsku. – Тернопіль: ФО-П Шпак В.Б. – 207-215 с. –ISSN 2522-932X
4. И.Е. Красикова, И.В. Красиков, В.В. Картузов, В.Б. Муратов, А.А. Васильев. Мультифрактальные характеристики горячепрессованных композитов из нанопорошков AlB12–AlN // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии, 2020, т. 18, № 1, сс. 89-96. <https://doi.org/10.15407/nnn.18.01.089>.
5. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976.
6. Jun Shao. Mathematical Statistics. Second Edition. Springer Texts in Statistics series. – Springer, 2003. ISBN 0-387-95382-5.

Вплив лазерної дії на тріщиноутворення поблизу включень в сталях

Губенко Світлана

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України,
пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, 49600, Україна
sigubenko@gmail

Анотація. Досліджено вплив попередньої лазерної дії на особливості зародження тріщин поблизу неметалевих включень за різних швидкостей деформації в широкому інтервалі температур. Обговорюється механізм утворення крихких розшарувань на межах включення-матриця. Встановлено критичні параметри зародження тріщин (критичний ступінь деформації для різних видів включень та мікроруйнувань), при досягненні яких виникають тріщини поблизу включень. Вивчено спільний вплив температури в інтервалі 25...900 °С та швидкості деформації на утворення мікроруйнувань поблизу включень, а також вплив градієнтних та композитних зон у сталевій матриці на розвиток тріщин. Проведено порівняльний аналіз типів мікроруйнувань та параметрів зародження тріщин поблизу включень за деформаційного навантаження без та після попереднього лазерного впливу. Встановлено інтервал енергій імпульсного лазерного впливу (18...25 Дж), що дозволяє отримувати максимальне лазерне зміцнення міжфазних меж включення-матриця. Показано роль лазерної обробки у підвищенні тріщиностійкості сталей.

Ключові слова: сталь, неметалеві включення, лазерна обробка, тріщина, когезивна міцність, міжфазні межі.

1. Вступ

Лазерна обробка (ЛО) широко використовується для поверхневого зміцнення деталей машин та механізмів [1-4]. У поверхневому шарі спостерігаються різноманітні дефекти, які можуть бути пов'язані з неметалевими включеннями, але також можуть знаходитися подалі від них [5]. Включення сприяють локалізації зміцнення сталей за лазерної обробки [6, 7]. Лазерна дія впливає на поведінку неметалевих включень за подальшого навантаження [8], що важливо з точки зору їх впливу на тріщиностійкість зміцненого поверхневого шару в умовах експлуатації виробу. Метою роботи є виявлення впливу лазерної дії на механізм та параметри утворення мікротріщин уздовж міжфазних меж включення-матриця сталі за різних швидкостях та температур деформації.

2. Матеріали та методики досліджень

Зразки різних сталей піддавали лазерній обробці на установці ГОС-30М за енергії імпульсу 10, 18, 25 та 30 Дж. Швидкість нагріву становила 10^5 °C/с, час дії імпульсу – (1,0, 2,5, 3,6, 4,2 та 6,0).10-3 с, швидкість охолодження – 10^6 °C/с. Після лазерної обробки зразки сталей піддавали розтягуванню у вакуумі за температур 25...900 °C на установках Інстрон-1195 та ІМАШ-5С зі швидкостями переміщення захватів V_1 – 800, V_2 – 1680 та V_3 – 2000 мм/хв. Дослідження проводили за допомогою оптичного мікроскопа "Neophot-21).

3. Результати досліджень

Поблизу неметалевих включень після розтягування за різних температур відбувається локалізація деформації, що призводить до виникнення мікротріщин різних типів [9]. Для багатьох включень (оксидів, деяких сульфідів та сульфідних евтектик, деяких силікатів) за звичайного розтягування характерне утворення порожнин (в'язких тріщин) шляхом розшарування уздовж міжфазних меж включення-матриця. У той же час для включень з титаном і деяких силікатів характерне утворення крихких тріщин у самих включеннях [9].

Лазерна обробка сприяє зміні механізму утворення тріщин поблизу включень за подальшої деформації, а саме поблизу включень, схильних до утворення порожнин (в'язких тріщин), утворюються крихкі розшарування (крихкі тріщини) уздовж меж включення-матриця (рис. 1, а - в). На етапах деформації, що передували руйнуванню зразків, коли ступінь деформації сталі перевищував 15...20 %, у матриці поблизу включень спостерігалися крихкі тріщини, які були продовженням крихких розшарування на міжфазних межах (рис. 1, б), або виникали у включень внаслідок гальмування зрушень у сталевій матриці.

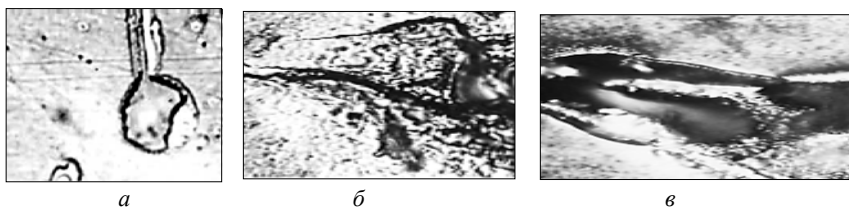


Рис. 1. Включення після лазерного впливу та деформації: *а* – $\text{MnO}\text{-Al}_2\text{O}_3$ в сталі 08Ю; *б* – $\text{FeS}\text{-(Fe,Mn)S}$ в сталі М68; *в* – $\text{MnO}\text{-SiO}_2$ в сталі 12ГC; $\times 500$

Критичний ступінь деформації $\epsilon_{\text{кр}}$, при досягненні якого у включень оксидів зароджуються тріщини, залежить від складу сталі, типу включення та температури. Визначені значення критичних ступенів деформації $\epsilon_{\text{кр}}$ для інтервалу температур деформації 25...900 °C за різних швидкостей деформації. Встановлено, що вище температура деформації, то більше величина критичного ступеня деформації $\epsilon_{\text{кр}}$ для усіх видів неметалевих включень і мікроруйнувань.

Виявився вплив швидкості деформації, а також режиму попереднього лазерного впливу на величину $\epsilon_{кр}$, при досягненні якого виникають мікроруйнування поблизу включень. Встановлено інтервал енергій імпульсної лазерної дії (18...25 Дж), що дозволяє отримувати максимальне лазерне зміцнення міжфазних меж включення-матриця.

Лазерне опромінення сприяє утворенню крихких тріщин і розшарувань уздовж меж включення-матриця, тобто. зміни типу мікроруйнування. Швидкісний масообмін атомами між включеннями та сталевою матрицею через міжфазні межі в момент лазерного впливу змінив стан останніх, що вплинуло на когезивну міцність меж включення-матриця [10]. Взаємний обмін атомами включень і матриці внаслідок поперечної дифузії призвів до поліпшення зчеплення на межі розділу внаслідок локального дифузного мікрозварювання, а також появи нових міжфазних дефектів в екстремальних умовах ЛТО.

4. Висновки

Встановлено вплив температурно-швидкісного режиму деформування за різних швидкостей деформації в інтервалі температур 25...900 °С, а також енергії лазерного імпульсу та тривалості впливу на параметри зародження та розвитку крихких розшарувань на міжфазних межах включення матриця сталі. Встановлено інтервал енергій імпульсної лазерної дії (18...25 Дж), що дозволяє отримувати максимальне лазерне зміцнення меж включення-матриця, а також сталевій матриці поблизу включень.

Список посилань

1. Kannatey-Asibu EJr. Principles of Laser Materials Processing. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2009.
2. Steen, WM, Mazumder J. Laser Material Processing. 4th ed. London: Springer; 2010.
3. Dowden J, Schulz W. The Theory of Laser Materials Processing: Heat and Mass Transfer in Modern Technology. 2nd ed. Berlin/Heidelberg: Springer; 2017.
4. Gladush GG, Smurov I. Physics of Laser Materials Processing: Theory and Experiment. Berlin/Heidelberg: Springer; 2011.
5. Губенко СІ., Парусов ЕВ., Парусов ОВ. Дефекти зміцненого шару за лазерної дії. *Металознавство та термічна обробка металів* 2021; 92(1): 7-13.
6. Gubenko SI. Analysis of the effect of nonmetallic inclusions on steel strengthening upon laser treatment. *Steel in Translation* 2021; 51(3): 217–28.
7. Gubenko SI. Zones of contact interaction in steel matrix near inclusions under the laser action. *Materials Science* 2011; 46(4): 448-52.
8. Губенко СИ. Возможности трансформации неметаллических включений и межфазных границ включение-матрица при высокоэнергетических обработках сталей. *Металлофизика, новейшие технологии* 2014; 36(3): 287-315.
9. Губенко СИ., Ошкадеров СП. Неметаллические включения в стали. Киев: Наукова думка; 2016.
10. Gubenko S. Influence of Laser Treatment on the Strength of “Inclusion–Steel Matrix” Interfaces Under Plastic Deformation. *Materials Science* 2017; 53 (1): 36- 41.

Одношарові фільтри зі зливним потоком води

Гулієва Наталія ^[0000-0001-9282-4880]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
n.huliieva@lntu.edu.ua

Анотація. Сучасний стан технологічного та промислового виробництва характеризується пошуком нових матеріалів і технологій їх отримання та обробки. Одним із конкурентоспроможних та енергоощадних напрямів є використання в якості вихідних матеріалів природних мінералів. Оскільки для очистки питної води застосовують сорбенти на основі природних мінералів, то ефективним методом є виготовлення фільтрів на їх основі з метою здешевлення фільтрувальних елементів з використанням різних сучасних технологій.

Ключові слова: технологічні процеси, фільтри з зливним потоком, аераційне промивання, дрібнозернисті, великозернисті засипки.

Сучасний стан промислового виробництва характеризується інтенсивністю технологічних процесів, підвищенням вимогам до якості вихідних та кінцевих матеріалів. У технологіях розробки фільтрувальних матеріалів, що застосовуються для очищення рідини, їх якість забезпечується фільтрацією [1]. До основних технологій очищення рідини належать: аерація, озонування, нейтралізація, зворотній осмос, ультрафільтрація, екстракція, хімічна обробка, коагуляція, флокуляція, флотажія, мікробіологічні технології, абсорбція, електрохімічні та іонообмінні технології. Всі технології, що застосовуються для очистки рідини, поділяються на три групи: механічні, фізико-хімічні та біологічні [2].

Для очищення рідин застосовують різні конструктивні типи фільтрів. В даному випадку ми будемо розглядати фільтри зі зливним потоком. Їх використовують для доочищення рідини після механічного очищення для вилучення дрібнодисперсних зважених частинок, а також біологічно очищених (див. рис. 1).

Засипка фільтру становить кварцовий пісок (величиною до 2 мм і товщиною шару (1,2-1,3 м) із підтримуючим шаром з гальки (з величиною зерен 2-10 мм висотою шару 0,5-0,7 м).

При наявності місцевого гранітного щебню засипка фільтру може проводитися щебнем величиною 3-10 мм, товщиною шару 1,2 м.

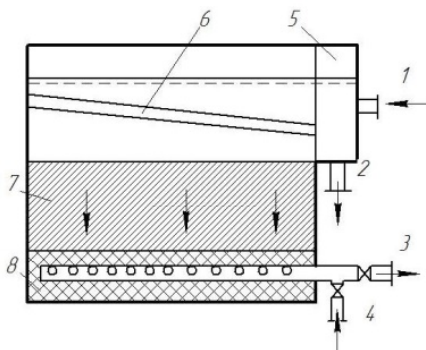


Рис. 1. Зернистий фільтр зі зливним потоком:

- 1 – підведення рідини; 2 – відведення промивної рідини; 3 – відведення фільтрату;
4 – подача промивної рідини; 5 – розподільчий карман; 6 – жолоб для подачі вихідної рідини; 7 – піщана засипка; 8 – підтримуючий шар

Для регенерації фільтрів передбачається аераційне або водяне промивання напірним потоком. Водоповітряне промивання проводиться в чотири етапи:

- початкове розпушування верхнього шару завантаження механічним або гідравлічним методом;
- продування повітрям для вирівнювання гідравлічного опору по всій площі фільтру;
- водоповітряна промивка;
- додаткова промивка водою для розпушування завантаження і відновлення її початкової пористості.

Ефект доочистки для дрібнозернистих фільтрів зважених речовин становить 70-75 %, вміст БСКповн. – 50-60 %, для великозернистих (з завантаженням з щебню) відповідно 45-50 % і 35-40 %. Фільтроцикл становить 12 год.

Характеристика режиму роботи фільтрувальних матеріалів служить для загальної оцінки характеру розвитку прогнозованих очисних процесів і дає підставу для вибору режиму, в якому ці процеси повинні відбуватися, – дрібнозернистих, великозернистих засипок. Таким чином, перед початком розробки необхідно виконати відповідні опрацювання щодо визначення гранично допустимих концентрацій шкідливих домішок у рідині.

Список посилань

1. Gulieva, N. (2012) Information support for drinking water treatment. *Actual Problems of Economics: Scientific economic journal*, Kyiv, 12 (138), P. 160-166.
2. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Рівне: НУВГП, 2005. 163 с.

Стратегії реверс інжинірингу у сучасних задачах механічної інженерії

Гусачук Дмитро ^[0000-0001-5899-1706], Парфентьєва Інна ^[0000-0001-6116-4509],
Боярська Інна ^[0000-0002-8290-9319]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
d.husachuk@lntu.edu.ua

Анотація. Розглянуті інженерні аспекти, що можуть впливати на вибір стратегії реверс інжинірингу у практичних задачах виготовлення прототипів виробів, починаючи від створення CAD моделей та процедури їх технологічної підготовки, до виготовлення окремими способами адитивного виробництва. На основі аналізу різноманітних прикладів реалізації процесів прототипування з використанням технологій 3D друку та власних досліджень, розроблено рекомендації щодо вибору стратегій виготовлення прототипів деталей механічної інженерії у випадку застосування FFF/FDM технологій адитивного синтезу. Встановлено, що досконалість виконання етапів препроцесингу у загальному циклі прототипування є важливою для інженерних задач, що вимагають конструктивної точності прототипів.

Ключові слова: адитивне виробництво, реверс інжиніринг, CAD моделювання, 3D друк, FDM технологій, прототип, слайсинг, філамент.

Технології адитивного виробництва (AM) все більше поглинають традиційні процеси формоутворення виробів. Прогрес як цифрових систем, апаратних засобів, так і сучасного матеріалознавства, з істотним розширенням номенклатури матеріалів, дозволили суттєво удосконалити процеси просторової пошарової побудови, та досягнути рівня, що відповідає не лише процесам виготовлення фізичних моделей, а і виробництву повноцінних прототипів виробів [1, 2]. До процесів адитивного синтезу все частіше залучають нові матеріали та способи побудови адитивних шарів. Неабияку перевагу має висока мобільність процесів та можливість швидкої реалізації комерційних пропозицій, а також прогнозування життєвого циклу виробу. Такий стан 3D технологій ставить їх у розряд домінуючих над консервативними та субтрактивними методами обробки. Чіткому контролю піддаються всі етапи виготовлення повноцінних прототипів. Питання створення та адаптації цифрових моделей до адитивного друку, їх корекція та слайсинг, підбір матеріалу, набувають актуальності, особливо за випадку реалізації цих технологій для задач механічної інженерії [3-5]. Тому, кожний

варіант виготовлення прототипів оригіналів інженерних деталей вимагає розробки власної стратегії виконання, що було метою даної роботи.

Методи пошарового синтезу на початку використовувались для створення демонстраційних моделей виробів в процесі їх розробки [6]. Загальновідомо, що ці моделі можуть бути набагато корисніші, ніж креслення або зображення для повного розуміння функцій виробу за концептуального проектування.

Використовуючи аналіз різноманітних концепцій можна скласти загальну схему етапів реінжинірингу із застосуванням адитивних процесів (рис. 1). Як бачимо інженерні задачі 3D прототипування включають кілька етапів та циклів, починаючи з віртуального CAD опису деталі та її функціоналу, трансферу й підготовки твердотільних моделей, отримання цифрових даних процесу, закінчуючи реалізацією АМ процесу, з отриманням фізичного результату побудови, та створення прототипу. Різноманітні вироби включають в себе процеси адитивного виробництва різними шляхами та в різній мірі.

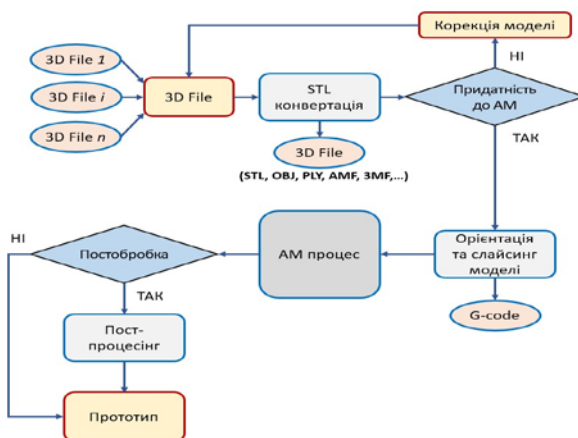


Рис. 1. Загальна схема реверс інжинірингу в технологіях 3D друку

Результат реінжинірингу залежить від детального аналізу кожного його етапу та вибору стратегії CAD підготовки, процесу друку та постобробки. Тут, сам процес пошарової побудови, після отримання 3D машиною цифрових даних побудови, мало залежить від користувача, що вигідно вирізняє адитивне виробництво від інших виробничих процесів. Можливі похибки на цьому етапі мінімізуються. Важливими є етапи, так званого препроцесінгу, якраз прийняті тут рішення будуть визначати загальну стратегію прототипування. Для виробів машинобудівного призначення актуальним буде інженерний аналіз, який визначить методи

збору цифрових даних та CAD моделювання, варіанти цифрових форматів, просторову орієнтацію моделі та напрям пошарового синтезу, можливі матеріали, а відповідно і загалом вид технології адитивного виробництва. Розуміння ступеня функціональності майбутнього прототипу частково визначатиме методи збору та формування CAD даних про об'єкт синтезу. Зокрема, у роботі, яка полягала у виготовленні за FDM друку пластиками функціональних прототипів інженерних деталей, встановлено, що способи формування цифрових моделей на основі хмар точок, отриманих світловими 3D сканерами, можуть не забезпечувати потрібної геометричної точності, особливо, за складності оптичних властивостей поверхонь оригіналу. Це може впливати на стратегію реінжинірингу та приводити до пошуку інших методів збору даних на етапах препроцесінгу. Корекція як цифрових даних, отриманих під час сканування, так і геометричних даних твердотільних моделей, займає багато часу, та іноді призводить до кардинальної зміни самого способу прототипування виробу.

Отже, в машинобудівних задачах на етапі збору інформації про об'єкт актуальним є аналіз можливих способів, якими був виготовлений цей об'єкт. Тут, стратегії реінжинірингу пов'язують з методами навчання, що полягають у комплексному аналізі виробу, складу матеріалів, технологій, з формуванням не просто CAD даних, а і опису виробничих процесів – CAE/CAM даних. Тобто, зворотній інжиніринг для індустриальних процесів це не просте копіювання створеного раніше виробу, а отримання знань про те, яким чином цей виріб був виготовлений. Така стратегія дозволить покращити виріб та знайти нові рішення щодо його виробництва адитивними способами.

Список посилань

1. Additive Manufacturing Technologies / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker, Mahyar Khorasani // Springer, Cham, 2021. – p. 675, doi:10.1007/978-3-030-56127-7.
2. Адитивні технології та матеріали: навч. посібник / Д.А. Гусачук, М.Д. Мельничук, В.М. Малець. – Луцьк : ЛНТУ, 2022. – 272 с. ISBN 978-617-8018-36-8.
3. Plocher J, Panesar A. Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: towards next-generation lightweight structures. *Materials & Design*. Volume 183, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108164>.
4. Zhang, P., Wang, Z., Li, J., Li, X. & Cheng, L. From materials to devices using fused deposition modeling: A state-of-art review. *Nanotechnology Reviews*, vol. 9, no. 1, 2020, pp. 1594-1609. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0101>.
5. Saiga, K.; Ullah, A.S.; Kubo, A.; Tashi. A Sustainable Reverse Engineering Process. *Procedia CIRP* Volume 98, 2021, PP 517-522. doi:10.1016/j.procir.2021.01.144.
6. Additive Manufacturing: A Tool for Industrial Revolution 4.0 / Manjaiah, M. Raghavendra, K. Balashanmugam, N. Davim, P.J., Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series. 2021, p. 324. ISBN: 978-0-12-822057-3.

Управління станцією технічного обслуговування автомобілів

Дембіцький Валерій ^[0000-0002-1006-9218], Караїм Володимир

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
dvm2@meta.ua

Анотація. Управління станцією технічного обслуговування автомобілів вимагає комплексного підходу та уваги до кожного підрозділу. Для забезпечення ефективної діяльності підрозділів необхідно чітко визначати обов'язки та відповідальність кожного працівника, використовувати сучасні технології та програмні засоби для оптимізації робочих процесів та покращення якості надання послуг, забезпечувати належний рівень матеріально-технічного стану та важливо враховувати фінансову стабільність підприємства. Такий підхід дозволяє досягти високої якості технічного обслуговування та задоволення потреб клієнтів.

Ключові слова: управління, станція технічного обслуговування автомобілів, ефективність, підрозділи.

1. Вступ

Організаційна структура управління станцією технічного обслуговування автомобілів є дуже важливим питанням, оскільки вона вирішує спосіб управління роботою станції та забезпечення координації дій між усіма підрозділами.

Управління станцією технічного обслуговування автомобілів є складним та відповідальним завданням, яке потребує розв'язання багатьох проблем. Ось декілька з них:

- конкуренція на ринку. Сучасний ринок технічного обслуговування автомобілів є дуже конкурентним, що може призвести до зменшення кількості клієнтів та зниження доходів станції.

- брак кваліфікованого персоналу. У сучасному світі де складніше знайти та залучити висококваліфікованих працівників на станції далекого технічного обслуговування. Це можна вплинути на якість наданих послуг та зменшити задоволення клієнтів.

- збільшення обсягів робіт. Завдяки зростанню автопарку та збільшенню кількості автомобілів, які потребують технічного обслуговування, на станціях можуть виникнути проблеми з вчасним виконанням усіх робіт. Це може викликати незадоволення клієнтів та зниження якості обслуговування.

- недостатнє використання технологій. У деяких станціях технічного обслуговування недостатньо використовують сучасні технології, які можуть сприяти оптимізації процесів та покращенню якості послуг. Наприклад, програма автоматизації процесу прийому-видачі автомобілів, використання засобів для складання графіків роботи персоналу тощо.

2. Основна частина

Для ефективного управління станцією технічного обслуговування автомобілів необхідно побудувати якісну та грамотну організаційну структуру, яка повинна включати щонайменше такі підрозділи:

- керівництво станції – забезпечення стратегічного управління та незалежно від рішення щодо розвитку станції.

- відділ управління персоналом – відповідає за підбір, навчання та розвиток персоналу, а також за забезпечення дотримання правил та процедур на робочому місці.

- відділ фінансів та бухгалтерії – відповідає фінансовому плануванню та забезпеченню ефективного використання ресурсів станції.

- відділ маркетингу та продажу – займається рекламою та просуванням послуг станції, а також розвитком ідей для залучення нових клієнтів.

- відділ технічного обслуговування та ремонту – надання послуг з технічного обслуговування та ремонту автомобілів.

- відділ контролю якості – відповідає за контроль якості послуг, що надаються клієнтам.

Звичайно, у забезпеченні станції технічного обслуговування автомобілів функціонує одиниця матеріально-технічного постачання, яка відповідає за забезпечення необхідними матеріалами, інструментами та обладнанням для проведення ремонтних та технічних робіт.

Кожен з цих підрозділів має свої завдання та функції, які повинні бути чітко визначені та відповідати стратегії та меті розвитку станції.

Для забезпечення ефективної діяльності підрозділів станції технічного обслуговування автомобілів можна використовувати різні підходи та методи. Ось декілька з них:

Чітке визначення обов'язків та відповідальність кожного підрозділу. Це допоможе уникнути підвищення компетенцій та підвищити ефективність роботи кожного працівника.

Встановлення цілей та планування роботи підрозділів на певний період часу. Регулярні перевірки результатів та коригування стратегії діяльності;

Застосування сучасних технологій та програмних засобів для оптимізації робочих процесів та покращення якості надання послуг. Наприклад, використання спеціалізованого програмного забезпечення для обліку ремонтних робіт, контролю якості виконаних робіт та моніторингу

робочих процесів.

Іноді на СТО можна існувати проблему неефективної кількості адміністративного персоналу. Це може бути пов'язано з тим, що на деякі адміністративні посади можуть бути зайняті люди, які не мають недостатніх навичок та досвіду для виконання своїх обов'язків, або з тим, що роль та функції певних посад можуть бути перекриті або дубльовані.

У таких випадках може бути корисним провести аналіз діяльності адміністративного персоналу та визнати можливість оптимізації його елементів та функцій. Зокрема, окремі посади можуть бути замінені або об'єднані, або можуть бути введені нові методи та технології управління, щоб зменшити навантаження на адміністративний персонал та забезпечити більш ефективну діяльність підприємства.

Раціональне співвідношення між виробничим та адміністративним персоналом на СТО може бути відмінним у залежності від розміру та складності підприємства, а також від того, як розподілені обов'язки між усіма підрозділами.

Приблизне співвідношення 70% виробничого персоналу до 30% адміністративного персоналу може бути відмінним варіантом. Однак при організації роботи на СТО слід отримати конкретні потреби та можливості підприємства, щоб досягти оптимального рівня продуктивності та ефективності діяльності.

3. Висновки

Досягнення успіху в управлінні станцією технічного обслуговування автомобілів може забезпечити підвищення якості технічного обслуговування та задоволення потреб клієнтів. Кожен підрозділ повинен працювати на результат і мати чіткі цілі, щоб узгоджувати зусилля та досягати успіху в галузі.

Список посилань

1. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 473 с.
2. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Організація, планування і управління: підручник. – 2-ге вид. перероб. / О.А. Лудченко, Я.О. Лудченко. – К.: Логос, 2014. – 464 с.
3. Андрусенко С.І. Технології підвищення ефективності виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук. – К.: Медінформ, 2017. – 212 с.:іл.

Ефективні методи управління запасами на СТО

Демб'юцький Валерій ^[0000-0002-1006-9218], Мурашко-Супрунюк Назарій

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
dvm2@meta.ua

Анотація. Управління запасами є великим аспектом ефективного функціонування СТО. Для забезпечення наявності деяких запасів та зменшення витрат на їх утримання необхідно використовувати ефективні методи управління запасами. Запропоновано різні методи формування запасів, як метод точки перезамовлення, метод ABC-аналізу, метод прогнозування попиту та інші. Для малої СТО найбільш ефективним може бути метод точки перезамовлення, який дозволяє зменшити кількість запасів та контролювати їх у режимі реального часу. Однак, при виборі методу потрібно виконати специфіку СТО та потребу його в запасних частинах.

Ключові слова: управління запасами, запасні частини, методи формування запасів, метод точки перезамовлення, метод ABC-аналізу, метод прогнозування попиту, оптимізація управління запасами.

1. Вступ

Формування запасів запасних частин на СТО є досить актуальною проблемою, оскільки вона пов'язана з безперервною роботою автотранспорту та обладнання. Відсутність деяких запасних частин може призвести до зупинки виробництва на СТО, негативно позначитися на репутації підприємства та втраті доходів.

З іншого боку, збільшення запасів запасних частин на СТО також може призвести до збільшення витрат, що негативно впливає на фінансовий стан підприємства. Тому важливо знайти баланс між деякими запасами та їх вартістю.

Крім того, на СТО можуть використовуватися різні види запасних частин - від стандартних до рідкісних. Тому важливо розробити ефективну стратегію управління запасами, щоб залишити частину запасів відповідно до потреби, знизити витрати на запаси та забезпечити ефективну роботу СТО.

Таким чином, проблема формування запасів запасних частин на СТО є досить актуальною та потребує пошуку ефективних рішень для її рішення.

2. Основна частина

Існує кілька методів формування запасів запчастин на СТО, і вибір методу залежить від різних факторів, таких як розмір СТО, типи обладнання, що обслуговується, частота ремонтів і наявність запасних частин, від постачальників. Ось кілька поширених методів:

- метод фіксованої інвентаризації: передбачає постійне зберігання фіксованої кількості кожної запчастини на складі. Цей спосіб підходить для СТО, які мають передбачуваний рівень попиту на запчастини і не хочуть ризикувати відсутністю запасів;

- метод мінімально-максимального запасу: цей метод передбачає встановлення мінімального та максимального рівнів запасів для кожної запчастини. Коли рівень інвентаризації певної частини падає нижче мінімального рівня, її впорядковують, щоб повернути запаси до максимального рівня. Такий спосіб гарантує, що під рукою завжди буде достатня кількість запчастин;

- метод точки пере замовлення: цей метод використовується для запасів, які мають певний рівень попиту та чітко відомий час доставки. За допомогою цього методу збільшити точку, коли слід замовляти нову партію запчастин;

- метод прогнозування попиту: цей метод використовується для запасів, попит на які змінюється випадково. За допомогою методу прогнозування попиту вийдуть майбутні потреби в запчастинах;

- метод «по запиту»: цей метод використовується для запасів, запит на які незначні або відсутні. Запчастини замовляються тільки після отримання запиту від клієнта;

- метод ABC-аналізу. Цей метод базується на класифікації запчастин за рівнем їх вартості та цінності для виробництва. Відповідно до методу, деталі розділені на категорії А, В та С. Деталі категорії А – це найбільш важливі деталі, які мають високу вартість та зазвичай складають 10-20% від загальної кількості деталей. Деталі категорії В – це менш важливі деталі, які мають більшу вартість і складають близько 30% від загальної кількості деталей. Деталі категорії С – це найменша деталь, яка має низьку вартість, але може складатися до 60% від загальної кількості деталей. Цей метод дозволяє зосередитися на окремих деталях та ефективно керувати запасами;

- метод ротаційного запасу. Цей метод виникає в тому, що деталі проекту в строго встановленому порядку, і запаси запчастин обертаються за принципом першим прийшов – першим вийшов. Це дозволяє забезпечити максимальний оборот запасів, знизити ризик простої обладнання та знизити загальні витрати на запаси;

- метод динамічного запасу. Цей метод враховує динаміку змін у попиті на запчастини та поповнює запаси відповідно до цих змін. Він установлює мінімальний запас запчастин, який повинен знаходитися на СТО

в будь-який момент часу, а також формує замовлень на запчастини з урахуванням змін у запиті та доставці деталей;

- метод середнього запасу. Цей метод виникає в тому, що запаси запчастин поповнюються до середнього рівня запасів, який розраховується на основі середнього запиту на деталі та час, необхідні для їх доставки. Цей метод дозволяє забезпечити стабільність запасів і уникнути великих коливань в їх розмірах;

- метод двох контейнерів (або метод Q-системи). метод відбувається в розподілі запасів запчастин на два контейнери: контейнер Q1 з великим запасом і контейнер Q2 з невеликим запасом. Запаси запчастин поповнюються до Q1, а при досягненні деякої точки, контейнер Q2 поповнюється до невеликого рівня, тим самим забезпечуючи безперебійну роботу СТО та знижуючи загальні витрати на запаси.

3. Висновки

Управління запасами на СТО є важливою складовою процесом обслуговування автомобілів та підтримки ефективної роботи СТО. Використання ефективних методів управління запасами дозволить зменшити витрати на утримання запасів, забезпечити наявність більшості запасів на складі та уникнути затримок в обслуговуванні клієнтів.

До методів управління запасами на СТО належать метод фіксованої інвентаризації, метод мінімально-максимального запасу, метод точки перезамовлення, метод прогнозування запиту, метод «за запитом», використання системи класифікації запасів, встановлення максимального рівня запасів, використання методу АВС-аналізу.

Для малої СТО найбільш ефективним методом формування запасів запчастин може бути метод точки перезамовлення, після чого він дозволяє зменшити кількість запасів, які займають місце на складі, та контролювати запаси в режимі реального часу. Однак, при виборі методу потрібно виконати специфіку СТО та потребу його в запасних частинах. Існує кілька методів формування запасів запчастин на СТО, і вибір методу залежить від різних факторів

Список посилань

1. Waters D. Logistics An Introduction to supply chain management. – Palgrave macmillan, 2021, 369 p.

Срібловмісні нанокompозити на основі полімерів природного походження

Демченко Валерій ^{1[0000-0001-9146-8984]}, Гнатюк Тетяна ^{2[0000-0003-1557-3277]},
Заремба Поліна

¹ Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,
вул. Харківське шосе, 48, Київ, 02160, Україна

² Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143, Україна
dvaleriy1@ukr.net

Анотація. Синтезовані срібловмісні нанокompозити Na-карбоксиметишце-люлоза–Ag–хітозан низької, середньої, високої молекулярної маси шляхом наплення наночастинок срібла на поверхню поліелектролітних комплексів.

Ключові слова: полісахарид, наносрібло, антимікробна активність.

Інфекційні захворювання, спричинені вірусами і мікроорганізмами, й далі залишаються однією з найбільших проблем охорони здоров'я в усьому світі, незважаючи на швидкий прогрес у створенні лікарських препаратів і розвиток фармацевтичних технологій. Високим залишається ризик виникнення ускладнень і поширення інфекцій у суспільстві.

Наукові дослідження та боротьба з стійкими до безлічі антимікробних агентів мікроорганізмами (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* (синьогнійна паличка), дріжджоподібні гриби *Candida albicans* та ін.), посідають важливе місце в сучасній медицині.

Отже, сьогодні існує потреба в нових матеріалах з вищою і бактеріцидною дією та меншою токсичністю для людини й довкілля (екології, медицини й харчової промисловості).

Поліелектролітні комплекси (ПЕК) на основі протилежно заряджених поліелектролітів спроможні до ефективної стабілізації наночастинок заданого розміру, перешкоджаючи процесам агрегації та окиснення наночастинок. Макромoleкули поліелектролітів містять у своєму складі іоногенні групи, вони здатні до електролітичної дисоціації в полярних середовищах і є водорозчинними сполуками. Доцільність використання поліелектролітних комплексів для синтезу нанокompозитів пов'язана з тим, що полімерна матриця сорбує іони металів, а в подальшому забезпечує стабілізацію наночастинок.

Мета роботи полягає в розробленні ефективних антимікробних срібловмісних нанокompозитних матеріалів на основі поліелектролітних комплексів за участю полісахаридів (натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) та хітозан низької, середньої та високої молекулярної маси) з використанням катодного

розпилення наночастинок срібла на поверхню плівок.

При напиленні наночастинок срібла на поверхню поліелектролітних комплексів Na-КМЦ – хітозан формуються срібловмісні нанокompозити з шаром металічного срібла. На це вказують на дифрактограмах відповідні дифракційні максимуми при $2\theta_m \sim 38^\circ$ і 44° які характеризують структуру металічного срібла.

Аналіз мікрофотографій срібловмісних нанокompозитів на основі Na-КМЦ й хітозану показав, що при напиленні наночастинок на поверхню поліелектролітних комплексів Na-КМЦ – хітозан низької молекулярної маси утворюється шар із наносрібла завтовшки ~ 200 нм.

Після 24 год інкубування зразків срібловмісних нанокompозитів Na-КМЦ–Ag–хітозан низької, середньої та високої молекулярної маси при 37°C на поживному середовищі спостерігали чітку зону навколо досліджуваних матеріалів. Діаметр зон затримки росту *S. aureus* становив 16,07; 18,64; 18,36 мм, *E. coli* – 19,34; 19,21; 19,27 мм, *P. aeruginosa* – 19,34; 16,53; 14,26 мм, *C. albicans* – 21,34; 17,09; 16,82 мм за дії срібловмісних нанокompозитів Na-КМЦ–Ag–хітозан низької, середньої та високої молекулярної маси відповідно. Спостерігалася дещо вища антимікробна активність щодо грамнегативних бактерій *P. aeruginosa*, *E. coli* та дріжджоподібних грибів *C. albicans* зразків срібловмісних нанокompозитів Na-КМЦ–Ag–хітозан низької молекулярної маси, натомість щодо *S. aureus* активність даних зразків, навпаки, була нижчою. При цьому значення антимікробної активності срібловмісних нанокompозитів Na-КМЦ–Ag–хітозан середньої та високої молекулярної маси мали вищі показники щодо грампозитивної бактерії *S. aureus* та дещо нижчою активністю характеризувались щодо тест-культур *E. coli*, *P. aeruginosa*, *C. albicans*.

Досліджено цитотоксичний вплив срібловмісних нанокompозитів Na-КМЦ–Ag–хітозан на моношарових епітеліальних культурах клітин MDCK та ВНК. Показано, що досліджувані зразки не чинять інгібувальний вплив на життєздатність клітин обох культур, оскільки відсоток живих клітин варіював у межах від 74 до 100 %.

Підвищення точності системи прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа

Денисюк Віктор ^[0000-0001-9268-5489], Черняк Софія, Яблонський Віталій

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
v.denysiuk@lntu.edu.ua

Анотація. Представлено результати досліджень п'єзоелектричного сканера для прецизійних механічних переміщень в скануючому зондовому мікроскопі з ємнісними датчиками переміщення і методи обробки зображень. Обґрунтовано вибір ємнісного датчика із змінним зазором між обкладинками, завдяки високій точності і чутливості, простоті і дешевій конструкції, а також мінімальними нелінійними спотвореннями, що вносяться в роботу СЗМ. Оцінка параметрів управління, отримана за допомогою математичної моделі СЗМ, дозволила спроектувати ПІД-регулятор, що забезпечує прецизійне механічне переміщення з заданою точністю. Розроблена методика вимірювань і обробки інформації здатна відстежити ефекти кріпу, гістерезису та інших нелінійностей п'єзокераміки. Вона не залежить від впливу температурних шумів, ефектів зміни параметрів сканера в часі.

Ключові слова: п'єзоелектричний сканер, скануючий зондовий мікроскоп, зонд, ємнісний датчик, точність, керування, сигнал, ПІД-регулятор.

Одним з найважливіших компонентів скануючого зондового мікроскопа (СЗМ) є сканер, який забезпечує прецизійні переміщення дослідного зразка. У методі постійної висоти сканер підтримує постійний зазор між зондом і поверхнею зразка. З точки зору задач автоматичного регулювання сканер є виконавчим пристроєм. Від характеристик сканера багато в чому залежить точність вимірювань.

На сьогоднішній день сканери для СЗМ найчастіше виготовляються з п'єзокерамічних виконавчих пристроїв. П'єзокераміка володіє такими параметрами, як кріп і гістерезис. Ці властивості спотворюють реакцію на вхідний сигнал і ускладнюють процес вимірювань. Щоб уникнути цих факторів, є два варіанти вирішення проблеми:

1. Поліпшення параметрів сканера (це різко збільшує його вартість).
2. Створення системи керування переміщення сканера на датчиках інших типів.

Використовуючи другий метод, можливо отримати більш дешеву конструкцію СЗМ і поліпшити параметри вимірювань. Тому актуальним є

питання про враховування нелінійностей характеристик датчиків, способів корекції цих нелінійностей, додаткової інформації про вибір параметра регуляризації в методі регуляризації Тихонова і про оцінку похибки відновлення двовимірного сигналу, одержуваного в СЗМ [1].

У конструкції СЗМ присутні механічні, електронні, обчислювальні і програмні модулі, які визначають точність його роботи. Дослідження і вдосконалення цих модулів дозволить поліпшити параметри роботи мікроскопа в цілому і на основі цих даних створювати нові класи вимірювальних приладів.

Сканер СЗМ має найбільшу кількість нелінійностей, тобто вносить велику кількість спотворень в досліджуваний профіль поверхні і зменшує достовірність одержуваної інформації. Завдання слідкуючої системи полягає в підтримці контрольованого параметра об'єкта керування на заданому рівні з заданою точністю. Вхідним сигналом для блоку обробки сигналів слідкуючої системи є сигнал помилки. Цей сигнал характеризує відхилення контрольованого параметра об'єкта керування від встановленого значення цього параметра. Оброблений сигнал надходить на виконавчий пристрій, який змінює контрольований параметр об'єкта керування [2].

Для блоку обробки сигналів слідкуючої системи ставиться завдання перетворення вхідного сигналу так, щоб оптимізувати динамічні характеристики зміни контрольованого параметра об'єкта керування. Для вирішення цих завдань застосовуються алгоритми пропорційної (П), пропорційно-інтегральної (ПІ), пропорційно-диференціальної (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальної (ПІД) регуляції. Так само застосовуються алгоритми придушення шумів, частотної фільтрації тощо. Часто в СЗМ інформаційний сигнал являє собою періодичний сигнал високої частоти, що змінюється в часі. В такому випадку, щоб отримати точну інформацію про зміни цього сигналу, використовується алгоритм синхронного детектування [3].

Ефективність застосування СЗМ залежить, в першу чергу, від параметрів приладу, а саме: від характеристик датчиків переміщень і від точності параметрів системи керування переміщенням. Тому одним з важливих напрямків є вирішення проблеми спотворення реакції на вхідний сигнал шляхом створення і вдосконалення системи керування переміщення на основі нових датчиків з використанням методів обробки сигналів в системі регулювання.

Для вирішення поставленого завдання найбільш підходять ємнісні датчики і оптичні. Так як обидва цих датчика підходять за характеристиками точності, варто вибрати найбільш дешевий і технологічно простий. Таким є ємнісний датчик лінійного переміщення із змінним зазором між обкладками, завдяки високій точності і чутливості, простої і дешевої конструкції і мінімальними спотвореннями, що вносяться в роботу СЗМ. В основі роботи датчиків даного типу лежить функціональна залежність ємності конденсатора від його геометричної конфігурації.

Так як ємність конденсатора змінюється пропорційно зворотному значенню величини зазору між пластинами, за умови визначеності площі обкладок конденсатора і діелектричної проникності діелектрика між ними, визначення ємності дозволяє судити про відстань між пластинами. Зміну ємності можна виміряти низкою способів (наприклад, вимірюючи його імпеданс). Вимірювання ємності конденсатора проводиться в складі електричного вимірювального ланцюга.

Завдання відновлення двовимірного сигналу, спотвореного апаратною функцією, полягає, з точки зору метрології, в добуванні кількісної інформації про справжній сигнал з виміряного спектра. Воно називається зворотнім завданням, або завданням редукції до ідеального приладу, і є одним з варіантів редукційної проблеми Релея. Це завдання, у якому малим похибкам вимірювання спектра і похибкам в апаратній функції можуть відповідати як завгодно великі похибки у відновленому сигналі. Тому для його чисельного розв'язку потрібне застосування стійких методів. Методику відновлення двовимірних сигналів СЗМ здійснено за допомогою математичної обробки виміряних сигналів шляхом розв'язання інтегрального рівняння методом регуляризації Тихонова.

Для вирішення цих питань, що сприяють підвищенню точності вимірювань в СЗМ, запропоновані наступні способи – спосіб побудови системи керування переміщенням в СЗМ на основі ємнісних датчиків і спосіб калібрування ємнісних датчиків, що застосовуються в СЗМ. Для вирішення обернених задач в СЗМ запропоновано алгоритм відновлення двовимірних сигналів, який є досить точним і використовує лише лінійні операції.

Систему автоматичного регулювання можна розбити на наступні компоненти [4]:

1. Датчик пересування сканера.
2. Вимірювальна схема.
3. ПІД-регулятор.

Загальна схема системи автоматичного регулювання представлена на рисунку 1.

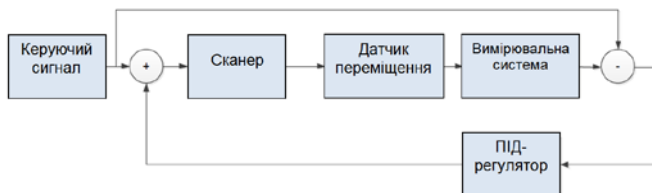


Рис. 1. Загальна схема системи автоматичного регулювання переміщення сканера СЗМ

Велике значення в поліпшенні параметрів приладу має вдосконалення методів математичної обробки інформації, одержуваної в результаті вимірювань в СЗМ.

Важливим завданням обробки інформації в СЗМ є підвищення дозволу

математичними методами. Якщо дозвіл приладу СЗМ є недостатнім, то і його застосування в ряді областей аналізу буде неякісним. Проте, якщо вимірювання в СЗМ доповнити математичною обробкою, то можна підвищити дозвіл приладу, тобто, з позицій метрології, підвищити точність вимірювань і тим самим поліпшити якість діагностики матеріалів або речовини.

Відновлення безперервного двовимірного сигналу за вимірюваним сигналом і відомої апаратної функції приладу сучасними математичними методами є перспективним напрямком розвитку СЗМ. Відмінність вимірюваного сигналу від істинного проявляється в більшому згладжуванні його в порівнянні з істинним сигналом і в його зашумленості (слабкі інформаційні параметри «тонуть» в шумі).

В результаті аналізу сучасних датчиків переміщень був вибраний ємнісний датчик переміщень із змінним зазором між обкладками. Методом вимірювання інформаційного сигналу цього датчика є метод вимірювання часу розряду/заряду конденсатора. На основі обраного методу були проаналізовані можливі похибки і створені обмеження на геометричні параметри ємнісного датчика для забезпечення точності в поставленому завданні. Виходячи з параметрів точності і швидкодії, обрана методика вимірювання малих переміщень сканера СЗМ підходить для застосування в задачах постобробки зображення і включення в ланцюг зворотного зв'язку системи регулювання переміщення сканера.

Розроблена методика вимірювань і обробки інформації здатна відстежити ефекти кріпу, гістерезису та інших нелінійностей п'єзокераміки. Вона не залежить від впливу температурних шумів, ефектів зміни параметрів сканера в часі. При цьому похибки вимірювання лінійних розмірів об'єктів в СЗМ-зображеннях знижені до 1,2 нм за рахунок усунення нелінійностей сканера.

Список посилань

1. Методи та засоби мікроскопії: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. 336 с.
2. Мікроскопія в нанотехнологіях: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 260 с.
3. Денисюк В.Ю. Система автоматичного регулювання прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2021. Вип. 19. С. 44-48.
4. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Тимошук А.А., Черняк С.О. До метрологічного забезпечення вимірювання за допомогою мікроскопа-нанотвердоміра «НаноСкан-3D». *«Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»*: матер. XXII-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 7-10 верес. 2021 р. Київ: 2021. С. 139-141.

Аналіз методик скануючої зондової літографії для отримання масок в полімерних плівках поліметилметакрилату

Денисюк Віктор ^[0000-0001-9268-5489], Яблонський Віталій, Черняк Софія

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
v.denysiuk@lntu.edu.ua

Анотація. Проведено аналіз методик і способів скануючої зондової літографії для формування літографічних масок для подальшого виготовлення наночастинок з різним аспектним співвідношенням, а також металевих нанорозмірних дротів як окремо розташованих, так і з масивними контактами з одного або різних металів. Встановлено, що методика точкового індентування з включеним зворотним зв'язком є найбільш оптимальною при створенні літографічної маски для формування круглих наночастинок при товщині плівки поліметилметакрилату менше 100 нм з використанням спеціальних алмазних зондів. При більш товстих плівках полімеру форма одержуваної маски спотворюється, внаслідок конструктивних особливостей приладу.

Ключові слова: мікроскопія, індентування, сканування, зонд, маска, полімер, структура.

Зростаючий інтерес до отримання та дослідження металевих феромагнітних частинок або дротів мікронного та нанометрового масштабу обумовлений широким спектром застосування. Найбільш актуальним напрямом є створення різноманітних магнітних датчиків або середовищ, що використовуються у носіях інформації, а також у пристроях спінтроники [1]. Крім патернованих систем із окремо розташованих феромагнітних частинок у якості середовища для запису інформації в даний час пропонується використовувати кристали, на поверхні яких можна створювати нанометрові області, які мають особливі властивості. Для отримання на поверхні підкладки окремо розташованих частинок широко використовується скануюча зондова літографія (СЗЛ). Латеральні розміри та конфігурація структур, одержуваних методом СЗЛ, зіставні з розмірами та конфігурацією структур, сформованими під час використання електронно-променевої літографії [2]. Однак у більшості випадків таких результатів за допомогою СЗЛ вдається добитися тільки на тонких полімерних плівках. І, як наслідок цього, структури, одержувані на кінцевому етапі, мають малу товщину. Для формування товстіших об'єктів з малими латеральними розмірами необхідно, відповідно, використовувати товсті (більше 100 нм) полімерні плівки, що призводить до утруднення використання стандартних методів СЗЛ. Вирішення проблем при створенні

наноструктур високої якості, пов'язаних з використанням стандартних методів СЗЛ при формуванні масок у товстих полімерних плівках є актуальним завданням.

У більшості випадків механічні СЗЛ методики добре працюють для тонких (~40 нм) полімерних плівок. Це пов'язано в першу чергу з тим, що при виготовленні масок використовується сила тиску зонда на поверхню зразка. Зонди, що застосовуються в СЗЛ, мають в основному конічну форму. По мірі занурення кінчика голки в полімер відбувається різке збільшення площі контакту. Це призводить до помітного опору з боку резистивної плівки та досягнення заданого оператором значення сили тиску зонда на зразок. В результаті, при використанні полімерної товстої плівки (>50 нм) при тих же параметрах, що й для тонкої плівки, маску виготовити не вдається.

Базовими методами силової СЗЛ є статична, динамічна літографія та індентування. У всіх перерахованих методах СЗЛ, мінімальні розміри одержуваних структур залежать від геометричних характеристик зонда – радіуса закруглення голки та кута сходження при її вершині.

СЗЛ дозволяє створювати літографічні маски (пори в полімері) для формування на підкладці ансамблів частинок із заданою формою. Для створення круглих частинок з однаковими розмірами найкраще підходить методика індентування, де головним параметром, від якого залежить розмір порів при використанні методів СЗЛ, є сила, з якою зонд тисне на поверхню поліметилметакрилату при ідентифікації [3]. Таким чином, задаючи глибину проникнення зонда в поліметилметакрилаті під час індентування можна змінювати розміри одержуваних порів у полімері.

З метою визначення оптимальної СЗЛ методики для отримання масок у плівці поліметилметакрилаті у вигляді однакових порів, досліджувалися чотири методики ідентифікації [2]. Дані методики залежали від технічних можливостей використовуваних приладів. Для порівняння та вибору кращої методики для отримання масок використовувався той самий шаблон.

Найпростіший і найшвидший спосіб формування порів у плівці поліметилметакрилату – індентування з відключеним зворотним зв'язком. В цьому випадку п'єзосканер АСМ повністю стиснутий, і зонд відведений від поверхні зразка на максимальну відстань. Для створення пори в полімері у програмі управління мікроскопом задається відстань, на яку необхідно перемістити зонд у напрямку до поверхні під час індентування [4, 5, 6]. Оскільки, відстань, на яку зонд опускається в полімер, завжди в цьому режимі однакова, то даний метод має суттєвий недолік. Він пов'язаний з тим, що відстань зонд-зразок у кожній точці сканування має бути постійною. Тобто, поверхня зразка має бути вирівняна та зорієнтована паралельно площині сканування. Умову паралельності поверхні зразка та площини сканування важко реалізувати у реальному експерименті. За першою методикою у нижньому лівому куті отриманого сканування контур сформованих порів має не чіткий характер. У той час як у верхньому правому кутку вони мали чіткі обриси та форму. Цей факт говорить про те, що з допомогою такої

літографічної маски отримання однакових наночастинок неможливо. Тим не менш, при встановленні зразка паралельно площині сканування, дана методика виготовлення маски є найшвидшою – до 200 пор/хв.

Для того, щоб уникнути згаданого недоліку першого методу індентування СЗЛ, використовується другий метод. У ньому індентування відбувається із включеним зворотним зв'язком. У цьому випадку зонд весь час торкається поверхні та за цим стежить електроніка мікроскопа. Тому оператору необхідно вказати відстань, на яку має опуститися зонд, рівну товщині шару поліметилметакрилату. Це дозволяє не орієнтувати поверхню зразка відносно площини сканування. У цьому методі зонд опускається з початкового положення (далеко від поверхні) до точки, де буде формуватися пора, і на деякий час перед продавллюванням зупиняється. Тільки після цієї зупинки проводиться індентування та подальший перехід до наступної точки шаблону. Зупинка відбувається внаслідок «відпрацювання» зворотного зв'язку. Це призводить до збільшення часу індентування порівняно з попереднім способом приблизно в 6 разів. Швидкість виготовлення маски знижується до 33 пор/хв. Оскільки глибина проникнення у кожній точці скану однакова, то скрізь виходять абсолютно однакові пори за розмірами та глибиною.

Вище описані два методи індентування добре підходять як для тонких полімерних плівок, так і для порівняно товстих ($50 < h < 100$ нм) при використанні гострих зондів з малим кутом сходження при вершині.

Виготовлення порів методом індентування в товстій (більше 100 нм) плівці поліметилметакрилату є затрудненим. У міру руху зонда в глибину поліметилметакрилату відбувається різке збільшення площі взаємодії поверхні зонда та плівки. Це призводить до збільшення опору з боку плівки. Оскільки жорсткість балки кантилевера має кінцеву величину, вона починає прогинатися. І при опусканні зонда на задану глибину, як у тонких плівках, вже не відбувається проколювання полімеру до підкладки. Для отримання пори необхідно нелінійно змінювати відстань, на яку зонд повинен опуститися у зразок. У цьому випадку на зонд діятиме велика сила, що може призвести до руйнування кінчика зонда, у момент контакту із жорсткою підкладкою. Ця руйнація призведе до збільшення розмірів сусідніх порів маски.

Для вирішення цієї проблеми була проведена модифікація другої методики. Вона полягає у способі управління сканером під час атомно-силової спектроскопії. Це дало можливість одержати ще дві методики індентування.

Третя методика використовувала затримку зонда у нижній точці ідентифікації. Тобто, зонд опускався вглиб поліметилметакрилату і залишався там до 10 секунд. Потім відводився і переходив до іншої точки. Під час затримки зонд продовжував діяти на поліметилметакрилат з максимальною силою. Це дає можливість йому ще глибше проникнути у плівку і вплинути на її тільки в одній точці при індентуванні. При цьому частина отримуваних порів відрізнялася від круглої форми. Зміна форми порів у вигляді дуги обумовлена кріпом п'єзосканера під час затримки зонда у нижній точці. Витягнута форма дуги по осі X обумовлена нелінійністю п'єзосканера. Вона обумовлена

порядком переходу від точки до точки за шаблоном, що використовується при інденуванні.

Четверта методика утворення порів у плівці поліметилметакрилату полягає у використанні багаторазового впливу АСМ зонда в одну точку, як при забиванні палі в ґрунт. Для виготовлення однієї пори зонд декілька разів піднімався і опускався в ту саму точку використовуваного шаблону, і тільки потім переходив до наступної. В цьому випадку при інденуванні товстої плівки поліметилметакрилату ймовірність руйнування кінчика зонда вже не така висока. Це обумовлено тим, що при повторному опусканні зонда в цю точку товщина поліметилметакрилату буде вже іншою і силу дії зонда на полімер можна поставити значно меншу, ніж у стандартному варіанті. Витягнута вздовж вертикальної осі Y форма порів, обумовлена тими ж особливостями використовуваного приладу, що у попередній методиці.

Для формування порів однакового розміру округлої форми на використовуваних приладах необхідно використовувати другу методику – інденування в одній точці із включеним зворотним зв'язком. У цьому випадку накладається обмеження на зонд. Бажано використовувати спеціальні зонди з алмазним кінчиком для уникнення його руйнування. Можливо, використання СЗМ, у яких вирішено проблеми кріпу та нелінійності за рахунок апаратного коригування, дозволить використовувати методики три і чотири для створення однакових порів у більш товстих плівках поліметилметакрилату.

Список посилань

1. Методи та засоби мікроскопії: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 336 с.
2. Мікроскопія в нанотехнологіях: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 260 с.
3. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Шибковський І.А. Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2020. Вип. 17. С. 33-41.
4. Денисюк В.Ю. Система автоматичного регулювання прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2021. Вип. 19. С. 44-48.
5. Денисюк В.Ю. Метрологічне забезпечення вимірювань в скануючій силовій мікроскопії з використанням спеціалізованих зондів. *«Актуальні проблеми автоматизації та управління»*: матер. ІХ-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. м. Луцьк, 30 лист. 2021 р. Вип. 9. Луцьк, 2021. С. 67-73.
6. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Тимошук А.А., Черняк С.О. До метрологічного забезпечення вимірювання за допомогою мікроскопа-нанотвердоміра «НаноСкан-3Д». *«Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»*: матер. ХХІІ-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 7-10 верес. 2021 р. Київ: 2021. С. 139-141.

Вплив провідності середовища на електричну ємність поверхневого шару металу

Джала Роман, Джала Василь, Мельник Мар'ян

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна
dzhala.rm@gmail.com

Анотація. Для визначення фізико-хімічних властивостей і діагностування корозії металу досліджено залежності ємності поверхні металу від частоти поля, електропровідностей середовища та ізоляційного покритву. Показано, що за низьких електропровідності середовища і частоти поля, визначені за відомими формулами значення ємності необхідно уточнювати.

Ключові слова: поверхня металу, середовище, ємність, поляризація.

Фізико-хімічні властивості металів і характеристики корозії та інших дефектів визначають за параметрами електромагнітного поля біля їх поверхні [1, 2].

Залежності ємності поверхні металу з ізоляційним шаром в електропровідному середовищі від частоти електромагнетного поля потрібні для обґрунтування нового методу визначення поляризаційного потенціалу за вимірами постійних і змінних електричних напруг з вилученням омичного складника та вибору характеристики апаратури для контролю корозії металу в середовищі [3, 4].

Для металевого циліндра з ізоляцією в однорідному зовнішньому середовищі, використовуючи формули для енергії електричного поля $W_e = C|U|^2/2$ та ємності конденсатора $C = |Q|/|U|$, маємо загальний вираз для ємності $C = |Q|^2/2W_e$. Електричний заряд на поверхні металу визначаємо за теоремою Гауса

$$Q = 2\pi a \varepsilon_i \int E_n dz, \quad (3)$$

а енергію електричного поля у циліндричній системі координат

$$W_e = \int_V \frac{\varepsilon_a |E_r|^2}{2} dV, \quad (2)$$

де нормальну до поверхні металу компоненту електричного поля E_r визначаємо на основі розв'язку крайової задачі електродинаміки [2].

Розраховано залежності ємності від частоти поля, провідності ізоляції та середовища (рис. 1).

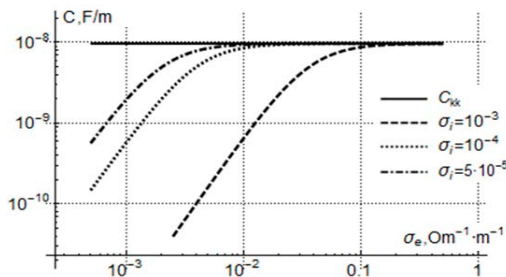


Рис. 1. Залежність ємності C від провідності середовища σ_e при частоті 100 Гц , для різних провідностей ізоляції σ_i ; C_{kk} – коаксіальна лінія

З урахуванням отриманих оцінок ємності поверхні металу з покриттям в агресивному середовищі (зокрема, підземних трубопроводів) і наведених у літературі діапазонів реальних значень перехідного опору ізоляційного покриття, поляризаційних ємності та опору (електрофізичних параметрів міжфазного шару “сталь-середовище” [3]) встановлено, що запропонований метод визначення поляризаційного потенціалу [4] для підземних трубопроводів правомірний, якщо частота змінного струму знаходиться у діапазоні від 2 Гц до 2 КГц , коли вже не проявляється поляризаційний опір границі сталь-середовище і ще не проявляється ємнісна (реактивна) складова провідності ізоляційного шару (оточеного ґрунтом) у порівнянні з омичною (активною) складовою провідності цього ж реального ізоляційного шару поверхні металу в умовах експлуатації.

Список посилань

1. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій. за загальної редакції З.Т. Назарчука. Том IV: Електрофізичні методи неруйнівного контролю дефектності елементів конструкцій / Р.М. Джала, В.Р. Джала, І.Б. Івасів, В.Г. Рибачук, В.М. Учанін / Довідниковий посібник – Львів: Простір-М, 2018, – 356 с.
2. Джала Р.М., Вербенець Б.Я., Мельник М.І. Вплив електрофізичних параметрів середовища на ємність металевого циліндра з ізоляцією. Відбір і обробка інформації. – 2016. – 44(120). – С. 12-16.
3. Визначення параметрів подвійного електричного шару для моделювання корозії на межі метал-електроліт / Р.М. Джала, В.М. Юзевич, М.І. Мельник, О.П. Чабан // Комп’ютерні науки та інформаційні технології. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів. Вид. НУ “Львівська політехніка”, 2011. – № 694. – С. 370-376.
4. Джала Р.М., Вербенець Б.Я., М.І. Мельник Визначення поляризаційного потенціалу металу в електропровідному середовищі. Відбір і обробка інформації. – 2013. – 38 (114). – С. 82-85.

Моделювання роботи технологічного обладнання з використанням методу мереж Петрі

Залета Ольга ^[0000-0002-0777-9972], Повстяной Олександр ^[0000-0002-1416-225X],
Залета Андрій ^[0009-0008-7448-5051]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
o.zaleta@lutsk-ntu.com.ua

Анотація. Дослідження спрямоване на побудову моделі функціонування технологічної машини. Моделювання починається з формалізації початкових даних, для чого необхідно проаналізувати структуру та принцип роботи типового компонування машини заданого призначення та відобразити взаємозалежність між вузлами (модулями) машини та виконуваними нею технологічними операціями. З допомогою представленого методу показано закономірність спрацьовування модулів машини. Представлена модель може бути основою для програмування машини і керування її роботою. Запропонований алгоритм можна використовувати для моделювання функціонування обладнання модульної будови незалежно його від призначення.

Ключові слова: технологічна машина, модуль, модель, операція, мережа Петрі.

З точки зору пошуку кращого варіанту структури технологічного обладнання застосування методів оптимізаційного синтезу, поєднаних із функціонально-модульним підходом, дає змогу з високою ефективністю розв'язувати задачі багатокритеріальної оптимізації довільного рівня складності. Розв'язком такої задачі є, як правило, набір вузлів (модулів), сукупність яких в компонуванні машини має забезпечити задані параметри роботи. Але такий результат не відображає закономірностей її функціонування [1].

Важливим завданням, яке доповнює розв'язок задачі структурної оптимізації, є встановлення правильної послідовності виконання технологічних переходів окремими модулями для забезпечення синхронізації роботи всієї машини.

Кожен модуль машини функціонально є дискретним елементом. Це означає, що технологічна операція реалізується кінцевим числом дій, результат яких фіксується в певні моменти часу і в певних станах модуля. Крім того, він характеризується також і безперервними аспектами функціонування, оскільки на ефективність роботи машини впливає також і механіка переходів з одного стану в інший. Проте для моделі функціонування ці безперервні властивості модулів значення не мають [2].

Для опису моделі функціонування введемо вектор-функцію $A(j)$, для якого j – номер такту, розмірність якого співпадає з кількістю вузлів – модулів – в машині, а i -та компонента цього вектора є кодом стану i -го ФМ на j -му такті роботи.

Значення вектор-функції $A(j)$ на j -му такті роботи назвемо j -ю проміжною ціллю (коротко j -ціллю) технологічного процесу. Введенням вектору $A(j)$ підкреслюється, що технологічний процес має послідовний впорядкований в часі характер.

Перехід від j -цілі до $(j+1)$ -цілі, який будемо називати j -м переходом циклу, полягає в зміні стану хоча б одного модуля. Якщо A_k^j – k -та компонента вектора $A(j)$, тобто існує значення коду стану k -го модуля в j -цілі, то принаймні для одного k : $A_k^j \neq A_k^{j+1}$.

Якщо ця умова виконується тільки для одного k , то j -й перехід назвемо послідовним. В протилежному випадку, коли умова виконується для двох і більше k , то j -й перехід буде паралельним, оскільки декілька модулів одночасно змінюють свій стан.

Таким чином, всі зміни стану модуля машини здійснюються під час переходів від однієї цілі $A(j)$ до наступної $A(j+1)$.

Під час моделювання роботи машини на переході $A(j) \rightarrow A(j+1)$ використовуються тільки макромоделі активних модулів [3, 4].

Побудуємо модель роботи машини згідно принципів методу мереж Петрі (рис. 1).

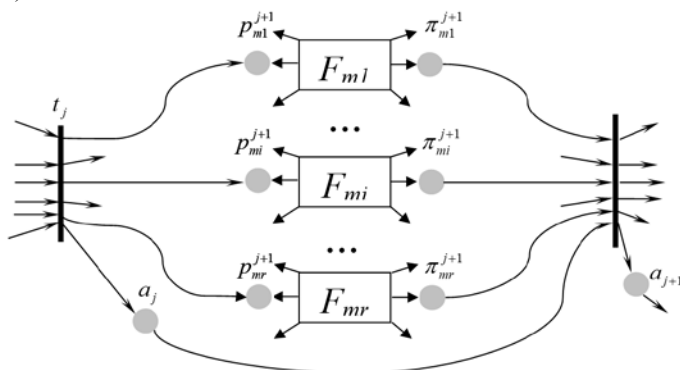


Рис. 1. Фрагмент мережі Петрі

Елементом, що виконує функцію, є перехід t_j , який зв'язує фрагменти моделі компонування, що відповідають цілям $A(j)$ та $A(j+1)$.

На рис. 1 зображено такий фрагмент: $F_{m_1}, \dots, F_{m_i}, \dots, F_{m_r}$ – макромоделі модулів із підмножини $M_c(j)$, які є активними на переході $A(j) \rightarrow$

$A(j+1)$ (r – кількість таких модулів); t_j та t_{j+1} – суміжні переходи сітки Петрі для моделей станів $A(j)$ та $A(j+1)$.

Після спрацювання переходу t_j , який значить, що компоновання перейшло в стан $A(j)$, маркери потрапляють на вхідні позиції $p_{m1}^{j+1}, \dots, p_{mi}^{j+1}, \dots, p_{mr}^{j+1}$. При цьому макромоделі $F_{m1}, \dots, F_{mi}, \dots, F_{mr}$ починають здійснювати переведення цих модулів в стани, які відповідають кодам $A_{m1}^{j+1}, \dots, A_{mi}^{j+1}, \dots, A_{mr}^{j+1}$. Такий перевід кожного ФМ M з $M_a(j)$ завершується через деякий час, рівний затримці $Q_{k_m^j k_m^{j+1}}$. Після завершення всіх таких переводів, тобто через період часу переведення компоновання зі стану $A(j)$ в стан $A(j+1)$, рівне $Q(A(j) \rightarrow A(j+1)) = \max_m Q_{k_m^j k_m^{j+1}}$ в вихідних позиціях $\pi_{m1}^{j+1}, \dots, \pi_{mi}^{j+1}, \dots, \pi_{mr}^{j+1}$ знаходяться маркери. Це призводить до спрацювання переходу t_{j+1} , що і значить перехід компоновання в стан $A(j+1)$. Позиції a_j і a_{j+1} введені для відображення факту знаходження компоновання у відповідному стані.

Список посилань

1. Дискретна математика: підручник / Ю.М. Бардачов, Н.А. Соколова, В.Є. Ходаков; За ред. В.Є. Ходакова. – [2-ге вид., переробл. і допов.] – К.: Вища шк., 2008. – 383 с.
2. Кіндрацький Б.І., Рациональне проектування машинобудівних конструкцій: монографія / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 280 с.
3. Сергієнко І.В. Задачі дискретної оптимізації. Проблеми, методи вирішення, дослідження: монографія / І.В. Сергієнко, В.П. Шило. – К: Наук. думка, 2003.
4. Томашевський В.М. Моделювання систем. / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 352 с.

Розробка вбудованого контролера системи керування програмного руху платформи Стюарта

Зозуля Валерій¹[0000-0003-3793-4686], Осадчий Сергій²[0000-0002-1811-3594],
Тернавський Олег¹

¹ Державний торговельно-економічний університет,
вул. Кіото, 19, Київ, 02156, Україна
irish38@ukr.net

² Льотна академія Національного авіаційного університету,
вул. Степана Чобану, 1, Кропивницький, 25005, Україна
srg2005@ukr.net

Анотація. На сьогоднішній день у багатьох областях науки і техніки активно створюються системи стабілізації положення на базі платформи Стюарта. Програмно регулюючи довжину штанг платформи Стюарта, можна керувати положенням вихідної ланки (робочої поверхні), переміщати її в вертикальному і горизонтальному напрямках, повертати в трьох площинах. Однією з необхідних умов використання таких механізмів є впровадження швидкодіючих систем керування реального часу. Найкращі апаратно-програмні засоби проектування контролера реального часу, є продукти фірми National Instruments. Для керування механічної частиною платформи Стюарта було запропоновано використання програм, які створені в середовищі LabVIEW з застосуванням модулів SoftMotion, Real Time та FPGA. В якості контролера для керування положенням робочої поверхні платформи Стюарта була обрана цільова апаратна платформа на основі R серії. Поєднання використання програмних інструментів при проектуванні швидко приводить до створення прототипу системи керування, тестування та верифікації програмного забезпечення, при цьому гарантується повне відслідковування складу її параметрів та іншої конструкторської інформації на всіх етапах проектування. В результаті проведених досліджень, показано етапи проектування такого контролера, з наведенням результатів проектування у вигляді програмних додатків та схеми апаратної реалізації системи керування.

Ключові слова: платформа Стюарта, контролер реального часу, LabVIEW.

1. Матеріал досліджень

Розробка проекту починається з визначення цільової платформи, на якій буде виконуватися програма. Було обрано апаратну платформу R серії, що реалізує концепцію реконфігурованого вводу/виводу (Reconfigurable

Input/Output (RIO)). Апаратна платформа RIO базується на мікросхемі ПЛІС (FPGA). Технологія RIO надає можливості високопродуктивного керування частотою вводу/виводу сигналів, їх синхронізацією, логічними зв'язками між ними та генерувати сигнали одночасно по всіх каналах.

Процес проектування RIO-системи включає наступні етапи:

1. Створення та компонування проекту цільовими пристроями, конфігурування ресурсів системи.
2. Розробка FPGA VI (віртуальний прилад), що визначає структуру FPGA і функції пристрою RIO, що виконуються, компіляція FPGA VI і попереднє налагодження.
3. Розробка та налагодження програмного забезпечення Real Time VI, що виконується у контролері реального часу.
4. Розробка та налагодження програми верхнього рівня Host VI, за допомогою якої проводиться некритична на час обробки даних, здійснюється контроль функціонування системи.
5. Комплексне налагодження та тестування системи.

2. Результати досліджень

На сьогоднішній день у багатьох областях науки і техніки активно створюються різні механізми на базі платформи Стюарта [1]. Такі механізми здатні забезпечити досить високі динамічні характеристики при відносно невеликій металоемності. Однак це можливо тільки в результаті розвитку швидкодіючих систем керування реального часу.

Для керування механічної частини платформи Стюарта, пошуку оптимальної траєкторії і взаємодії з програмою-моделлю (в середовищі SolidWorks) використовуються програми, створені в середовищі LabVIEW з інструментарієм NI-SoftMotion в якості контролера для керування положенням робочої поверхні платформи Стюарта. Модуль LabVIEW NI SoftMotion надає API (програмний інтерфейс програми) у вигляді функціональних блоків, які зазвичай використовуються на апаратних засобах, що працюють на ОС в реальному часі, для створення детермінованих додатків керування рухом, використовуючи функціональну парадигму блокового програмування. Вони являють собою API, який посилає команди контролера руху та виконується, як службовий драйвер контролера за допомогою модулів LabVIEW Real Time і FPGA. Таке поєднання дає можливість візуалізувати й оптимізувати проект і оцінити різні концепції проекту до витрат для фізичного проектування.

Був створений проект в LabVIEW Stewart_platform.lvproj, до нього був підключений проект з SolidWorks для імпортування віртуальних двигунів, маючи таку ж назву Stewart_platform.sldasm. Надалі були задані осі для кожного двигуна в SoftMotion Axis, які знаходяться в проекті LabVIEW.

Також було додано координатну площину (Coordinate Space 1), щоб керувати відразу декількома осями. Далі було додано апаратну платформу RIO. Для цього проекту було вибрано реконфігуроване шасі на базі ПЛІС (FPGA) NI PCI-7833R (Fig. 1).

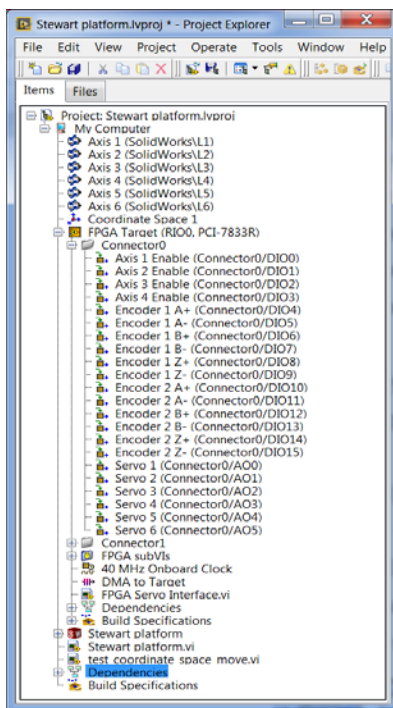


Рис. 3. Робочий проект Stewart_platform.lvproj в LabVIEW Project Explorer

В результаті проведених досліджень розроблена апаратна та програмна реалізація системи керування руху робочої поверхні платформи Стюарта за допомогою технології National Instruments. Система керування реалізується в якості вбудованого контролера реального часу, розташованого на цільовій апаратній платформі R серії - PCI-7833R, основою якої є FPGA пристрій з каналами вводу-виводу.

Список посилань

1. Зозуля В., Осадчий С., Беляєв Ю., & Pawłowski P. (2018) Класифікація завдань і принципів управління механізмом паралельної кінематичної структури для вирішення різних завдань. Automation of Technological and Business Processes. 10(2), 18-29.

Керамічні біо-покриття на титанових сплавах: морфологія поверхні, хімічний склад

Імбірович Наталія^{1[0000-0001-8276-6349]},
Курджидловський Кшиштоф Ян^{2[0000-0003-3875-4820]},
Звірко Ольга^{3[0000-0002-6973-6804]}, Повстяной Олександр^{1[0000-0002-1416-225X]},
Боярська Інна^{1[0000-0002-8290-9319]}

¹Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

²Bialystok University of Technology, 45c Wiejska str., Bialystok, 15-351, Poland

³Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна
n.imbirovych@lntu.edu.ua

Анотація. Дана робота спрямована на дослідження властивостей біопокриттів, синтезованих в електролітах різного складу, основними компонентами яких є рідке скло гідроксиду калію. Робочі електроліти насичували фосфатами і солями кальцію. Для насичення електроліту кремнеземистими сполуками в робочий розчин також додавали діатоміт. Помічено, що додавання в електроліт діатоміту призводить до стабілізації процесу синтезу, тобто включення 20 г/л діатоміту в електроліт усуває момент раптового підвищення напруги на аноді. Встановлено, що покриття, синтезовані в електроліті, до якого додавали гідроксиапатит, утворювали більшу кількість кратерів, але розмір їх отвору був дещо меншим. Спектральними дослідженнями встановлено, що введення гідроксиапатиту в електроліт підвищує вміст кальцію. і фосфору в покриттях.

Ключові слова: ПЕО-покриття, плазмо-електролітне оксидування, хімічний склад, шорсткість поверхні, електроліт.

Така властивість титанових сплавів, як утворення на повітрі та крові високо-біосумісної пасиваційної плівки діоксиду титану, дозволяє їм бути біологічно сумісними з живим організмом, тобто прийнятними для заміни кістки, адже внаслідок впровадження в біологічне середовище титанового імплантату значно зменшується ризик його відторгнення. Відомо, що основними недоліками титанових сплавів є погана оброблюваність різанням, високий коефіцієнт тертя, порівняно невисокий модуль пружності, а для імплантології ще й додається маргінальна корозійна стійкість, низька хімічна активність, а також невисока адгезійна здатність. Ці факти можуть призвести до резорбції кістки навколо них [1]. Саме широке застосування титанових сплавів в промисловості і призводить до пошуку дослідниками в світі нових методів поверхневої обробки для нівелювання цих та інших недоліків.

Основною перевагою ПЕО-покриттів є їх екологічність та можливість синтезувати покриття з високою адгезійною міцністю до підкладки та різними властивостями, залежно від вимог, які висуваються [2-3].

Основними компонентами електролітів для синтезу ПЕО-покриттів є гідроксид калію та рідке скло [4-6]. Пояснюється це тим, що КОН має здатність до залужування розчину, а введення Na_2SiO_3 призводить до підвищення рН та збільшення в'язкості, що призводить до зростання провідності електроліту. Склад оксидокерамічних покриттів залежить від основи, на яку синтезується покриття і компонентів електроліту. Для сприяння процесу остеоінтеграції поверхня керамічних покриттів повинна бути високопористою. Для сприяння біосумісності покриття основне значення має склад покриття, який формується в результаті плазмохімічних реакцій в плазмі іскрових розрядів в процесі синтезу [5]. Для розроблення покриттів для імплантатів необхідно, щоб їх поверхня мала максимально наближений склад до кістки [7]. Саме з цієї причини робочі електроліти насичували фосфатами та солями кальцію. Поверхня покриттів, отриманих внаслідок ПЕО представлена на рис. 1.

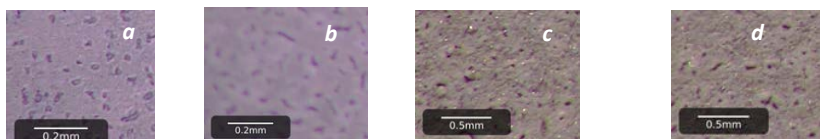


Рис. 1. Морфологія поверхні ПЕО-покриттів, синтезованих в різних електролітах: *a*, *b* – 5 g/l КОН+5 g/l liquid glass+5 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +5 g/l $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ +5 g/l $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; *c*, *d* – 5 g/l КОН+5 g/l liquid glass+5 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +5 g/l $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ +5 g/l $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + 1 g/l hydroxyapatite

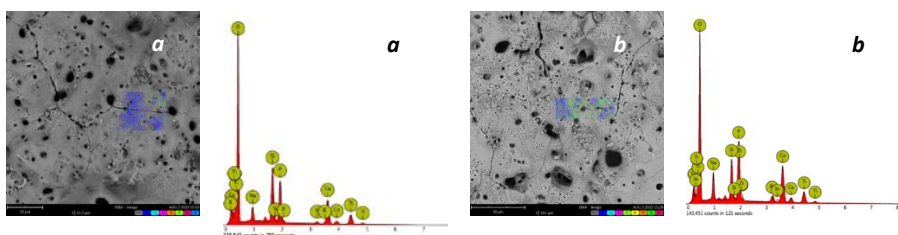


Рис. 2. ПЕО-покриття зі спектрограмами, синтезоване за наступними режимами: *a* – 5 g/l КОН+5 g/l liquid glass+5 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +5 g/l $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ +5 g/l $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, час синтезу 10 хв; *b* – 5 g/l КОН+5 g/l liquid glass+5 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +5 g/l $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ +5 g/l $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + 1 g/l hydroxyapatite, час синтезу 20 хв

З метою розуміння процесів, які виникають під час синтезу та для подальшого пояснення властивостей покриттів проаналізували вміст

компонентів в покриттях, які отримали за різних режимів (рис. 2). Очевидним є те, що вивіряли вміст тих елементів, які присутні в електролітах.

Висновки

Встановлено, що на морфологію поверхні та склад покриття впливають режими плазмоелектролітного окиснення. Причому, результатами досліджень виявлено, що більша шорохуватість властива тим поверхням, які синтезовані в електроліті з додаванням гідроксиапатиту. Зазначено, що співвідношення густини струмів не впливає на показник шорсткості чи розмір кратерів проте тривалість процесу впливає на цей показник. Так, встановлено, що збільшення часу окиснення від 10 хв до 20хв призводить до більшої густини кратерів на поверхні покриттів. Спектральними дослідженнями встановлено, що введення в електроліт гідроксиапатиту підвищує вміст кальцію та фосфору в покриттях.

Список посилань

1. Stankiewicz JA, Vaidy AM, Chow JM, Petruzzelli G. Complications of hydroxyapatite use for transnasal closure of cerebrospinal fluid leaks. *Am J Rhinol.* 2002; 16: 337-341.
2. M. Aliofkhaeaei, D.D. Macdonald, E. Matykina, and etc. Review of plasma electrolytic oxidation of titanium substrates: Mechanism, properties, applications and limitations. *Applied Surface Science Advances* 5 (2021).
3. Imbirovich N.Y., Klapkiv, M.D., Posuvailo, V.M., Povstyanoi, O.Y. Properties of ceramic oxide coatings on magnesium and titanium alloys synthesized in electrolytic plasma // *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis link is disabled*, 2015, 54(1-2), pp. 47-52.
4. R.O. Hussein, X. Nie, D.O. Northwood, A. Yerokhin, A. Matthews. Spectroscopic study of electrolytic plasma and discharging behaviour during the plasma electrolytic oxidation (PEO) process. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 43 (2010), p. 10520.
5. H.F. Guo and etc. Microstructure characteristic of ceramic coatings fabricated on magnesium alloys by micro-arc oxidation in alkaline silicate solutions: *Applied surface science. Volume 252, Issue 22(2006)*, p. 7911-7916.
6. M. J. Dignam. *Ionic Transport Oxide Films/Oxides and Oxide Films.* – New York, 1972, P. 91 – 286.
7. Shimin Liu, Baoe Li, Chunyong Liang, Hongshui Wang, Zhixia Qiao. Formation mechanism and adhesive strength of a hydroxyapatite/TiO₂ composite coating on a titanium surface prepared by micro-arc oxidation. *Applied surface science. Vol. 362 (2016)*, P. 109-114.

Комплексний підхід до зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах

Калініченко Володимир

Донбаська державна машинобудівна академія,
вул. Академічна, 72, Краматорськ, 84313
kww_74-5@i.ua

Анотація. У роботі на основі аналізу досліджень і публікацій із загальних аспектів проблеми енергоефективності механічної обробки, а також специфіки процесів токарної обробки на важких верстатах представлено шляхи зниження витрат енергії при даній обробці. На основі аналізу енергобалансу процесу механічної обробки обґрунтовано комплексний підхід до зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах, що передбачає заходи зі зниження витрат енергії на фізичні процеси у зоні різання за рахунок зниження силового навантаження у ній, зниження втрат енергії у механічній та електричній частинах приводу головного руху (ПГР), а також з рекуперації енергії у верстатних системах. Показано загальні підходи до оптимізації режимів токарної обробки на базі критерію мінімуму питомої енергомосткості (максимуму енергетичного ККД) різання, представлено керовані, а також деякі вхідні фактори моделі. Запропоновано використання самонавчальної системи для автоматизованого визначення енергоефективних режимів різання та їхньої корекції за результатами аналізу даних про обробку. Розглянуто можливості зниження втрат енергії у ПГР та рекуперації енергії у верстатних системах.

Ключові слова: токарна обробка, важкі верстати, енерговитрати.

1. Вступ. Аналіз стану проблеми

Для високоенерговитратних процесів токарної обробки на важких верстатах проблема зниження енерговитрат є надзвичайно важливою. Дослідження шляхів зниження енерговитрат на ці процеси мають спиратися як на аналіз загальних аспектів проблеми енергоефективності механічної обробки, так і на врахування специфіки досліджуваних процесів.

Різні аспекти енергоефективності механічної обробки розглядалися у роботах В.К. Старкова [1], А.В. Карпова [2], Д.Ю. Федориненка [3] та ін. Згідно з ними, забезпечення енергоефективності обробки може базуватись як на виборі енергоефективних умов та параметрів процесу різання (ПР), зокрема, при оптимізації режимів різання за енергетичними критеріями [1, 2], так і на розробці енергоефективного обладнання [3].

Високий рівень енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах разом з високою вартістю верстато-години роботи таких верстатів вимагає наукового обґрунтування шляхів зниження енерговитрат для цієї обробки.

2. Основна частина

Енергетичний баланс механічної обробки передбачає наступний розподіл енергії, спожитої приводом головного руху (ПГР) верстата з електромережі:

- витрати енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання;
- втрати енергії у механічній частині ПГР верстата;
- втрати енергії у електричній частині ПГР верстата.

Комплексний підхід до зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах передбачає дослідження можливостей зниження всіх трьох складових енергобалансу обробки. Огляд публікацій за тематикою досліджень та аналіз специфіки токарної обробки на важких верстатах дозволили визначити наступні резерви зниження енерговитрат при обробці:

- зниження витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання за рахунок зниження силового навантаження на зону різання;
- зниження абсолютних втрат енергії у механічній та електричній частинах ПГР за рахунок зниження питомих втрат при модернізації приводу;
- використання рекуперації енергії у верстатних системах;
- зменшення часу на обробку для зниження сумарних енерговитрат на неї.

Основним напрямом зниження витрат енергії на фізичні процеси у зоні різання є оптимізація режимів обробки за критеріями, пов'язаними з рівнем питомих енерговитрат при різанні. Такими є [1, 2]: критерій мінімуму питомої енергомосткості різання $e = \frac{A_{\text{різ}}}{V} = \frac{N_{\text{різ}}}{\Pi_{\text{різ}}} = \frac{N_{\text{різ}}}{v \cdot S \cdot t} \rightarrow \min$ ($A_{\text{різ}}$ – робота різання; V – об'єм зрізаного шару матеріалу; $N_{\text{різ}}$ – ефективна потужність різання; $\Pi_{\text{різ}}$ – продуктивність різання; v – швидкість різання; S – подача; t – глибина різання) та критерій максимуму енергетичного ККД процесу різання $K = \frac{\Delta w \cdot V}{N_{\text{різ}}} = \frac{\Delta w}{e} \rightarrow \max$ (Δw – питома енергомосткість оброблюваного матеріалу). Керуваними факторами оптимізаційної моделі слугуватимуть подача S та швидкість різання v , у якості вхідних факторів, крім механічних властивостей оброблюваного матеріалу та глибини різання t , можуть враховуватись геометрія різця, форма різальної пластини, а також додаткові умови здійснення ПР, такі як наявність покриття на різальній пластині чи введення додаткової теплової енергії до зони різання. Останні два фактори за рахунок полегшення умов деформації оброблюваного матеріалу суттєво знижують силове навантаження та питому енерговитрати у зоні різання.

Автоматизоване визначення енергоефективних режимів токарної обробки на важких верстатах з ЧПК за моделями на основі представлених критеріїв може бути здійснене за допомогою самонавчальної системи (СНС), здатної корегувати режими за результатами аналізу даних про обробку, отриманих вимірювально-діагностичними приладами СНС у режимі реального часу.

Основними джерелами втрат енергії у механічній частині ПГР важких верстатів є вальничні вузли та пасові передачі. Відповідні конструктивні зміни в них забезпечують підвищення ККД η його механічної частини.

Втрати енергії у електричній частині ПГР можуть бути зменшені за рахунок підвищення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ при впровадженні систем компенсації реактивної складової споживаної електроенергії.

У сучасних ПГР важких верстатів впроваджуються технічні рішення, що дозволяють суттєве підвищення значень η (до $\eta = 0,9 \dots 0,95$) та $\cos \varphi$ (до $\cos \varphi \rightarrow 1$). Впровадження цих рішень майже вичерпує резерви зниження енерговитрат при роботі верстата за рахунок модернізації його ПГР.

Перспективним варіантом заощадження енергії, спожитої верстатом з електромережі, але не використаної у зоні різання, є рекуперація енергії у верстатних системах [3]. Втім, цей аспект проблеми енергоефективності механічної обробки, особливо на важких верстатах, є ще малодослідженим.

3. Висновки

У роботі обґрунтовано комплексний підхід до зниження енерговитрат на токарну обробку на важких верстатах, що передбачає зниження витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання, втрат енергії у механічній та електричній частинах привода головного руху, рекуперацію енергії у верстаті, зменшення часу на обробку для зниження сумарних енерговитрат не неї. Представлені конкретні шляхи реалізації цього комплексного підходу.

Список посилань

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. / В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с. – ISBN 978-5-94275-460-0.
2. Карпов А.В. Показатели энергетической эффективности процесса резания / А.В. Карпов // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. Том 14. №1. 2012. Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012. – С. 51-59.
3. Федориненко Д.Ю. Енергоефективність обробних верстатів / Д.Ю. Федориненко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»: науковий збірник. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 2 (78). – С. 64-70.

Ефективність обробки компонентів полінаповнених епоксикомпозитних матеріалів у фізичних полях

Кашицький Віталій ^{1[0000-0003-2346-912X]}, Савчук Петро ^{2[0000-0002-5319-3913]},
Садова Оксана ^{1[0000-0002-6152-5447]}, Климовець Олександр ^{1[0009-0002-6889-1199]}

¹ Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

² Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН
(Національної академії аграрних наук), вул. Шкільна, 2, смт Рокині, 45626, Україна
v.kashytskyi@lntu.edu.ua

Анотація. Визначено покращення триботехнічних властивостей епоксикомпозитних матеріалів, які містять в своєму складі дискретні волокнисті наповнювачі та термостійкий кремнійорганічний модифікатор. Встановлено ефективність ультразвукової обробки волокнистих наповнювачів в середовищі розчинника та електромагнітної обробки кремнійорганічного лаку. Використання дискретних арамідних та скляних волокон забезпечує підвищення механічних характеристик та коефіцієнта тертя, що позитивно впливає на формування структури та властивості епоксикомпозитів фрикційного призначення.

Ключові слова: епоксикомпозит, зносостійкість, інтенсивність зношування, коефіцієнт тертя.

1. Вступ

Міцність полімеркомпозитних матеріалів визначається властивостями волокон, які перерозподіляють напруження в полімерній матриці [1, 2]. Жорсткі армувальні волокна здатні сприймати напруження, які виникають в процесі навантаження композиту, надаючи полімерній матриці додаткову міцність.

Технологічний процес суміщення компонентів полягає в якісному просоченні волокнистих матеріалів рідким зв'язуючим за рахунок заміщення повітря і вологи, що знаходиться в мікропорах волокон. Недостатнє просочення волокон знижує міцність і передчасно руйнує полімеркомпозитний виріб [3].

Одним із методів підвищення фізико-механічних характеристик композитних матеріалів є застосування попередньої обробки волокнистого наповнювача, що сприяє зниженню залишкових напружень. Також дослідження показують, що чим більша довжина волокон і менший діаметр, тим вищий ступінь зміцнення композитного матеріалу [4, 5].

2. Результати досліджень

Склад та технологію формування епоксикомпозитних матеріалів (табл. 1) для триботехнічних досліджень визначено згідно аналізу попередніх досліджень та оптимізації складу методом математичного планування експерименту [6]. Для формування епоксикомпозитних зразків використано дискретні скляні та арамідні волокна довжиною 3-4 мм, високодисперсний порошок алюмінію.

Таблиця 2. Склад та технологія формування епоксикомпозитів

№ зразка	Склад матеріалу	Обробка волокон	Обробка модифікатора
	Вміст наповнювачів		
1	1) дискретні скловолокна (10 мас. ч.) 2) дискретні арамідні волокна (1 мас. ч.) 3) порошок алюмінію (7 мас. ч.)	–	–
2		+	–
3		–	+
4		+	+

Примітки. 1. Матриця: 100 мас. ч. смоли ЕД-20, 12 мас. ч. твердника ПЕПА.
2. Вміст модифікатора 20 мас. ч.
3. Дискретні волокна обробляли ультразвуком в розчині ацетону протягом 5 хв.
4. Модифікатор КО-08 обробляли в електромагнітному полі потужністю 120 Вт протягом 10 хв.

Дослідження триботехнічних властивостей розроблених епоксикомпозитних матеріалів фрикційного призначення проводили в умовах сухого тертя. Швидкість ковзання становила 1,0 м/с. Питоме навантаження змінювалось в межах 0,5-1,5 МПа.

Експериментально встановлено, що інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитів, які містять необроблені волокна та модифікатор (№ 1) становить 1,4-4,8 мг/км залежно від питомого навантаження. Визначено, що інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитів (1,1-4,1 мг/км), які містять оброблені ультразвуком дискретні волокна (№ 2), є нижчою на 14,6-39,1 % порівняно з необробленими компонентами епоксикомпозитів № 1.

Інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитів, що містять в складі оброблений в електромагнітному полі модифікатор та необроблені дискретні волокна (№ 3), становить 3 мг/км і поступово знижується до 1,5 мг/км із підвищенням питомого навантаження до $P = 1,5$ МПа. Це вказує на процесі самоорганізації, в результаті чого відбувається формування плівки переносу на трибоповерхнях, що стабілізує процес фрикційної взаємодії та знижує інтенсивність зношування трибопари. Додатково зниженню інтенсивності зношування також сприяє наявність замаслювача на поверхні арамідних волокон.

Інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитів, що містять оброблені компоненти (№ 4) становить 1,4-2,8 мг/км, що є нижчою на 7% порівняно із епоксикомпозитами, які містять необроблені дискретні волокна. Це можна пояснити наявністю в складі епоксикомпозитного матеріалу оброблених волокон, на поверхні яких утворюються додаткові фізико-хімічні зв'язки з епоксиполімерною матрицею, та використанням обробленого в електромагнітному полі кремнійорганічного лаку.

Встановлено, що в результаті ультразвукової обробки дискретних волокон в середовищі розчинника відбувається ефективне очищення поверхні волокон від залишків замазювача, що сприяє формуванню нових фізико-хімічних зв'язків та призводить до підвищення механічних характеристик. Обробка кремнійорганічного лаку в електромагнітному полі призводить до видалення розчинника, який перешкоджає структуруванню та призводить до утворення макроскопічних дефектів структури епоксикомпозитів.

Список посилань

1. Чеботарева Е.А. Полимерные композиционные материалы: формирование структуры и влияние ее на свойства / Вишняков Л.Р. // Вісник інженерної академії України. – 2012. – Т. 25 – №2. – С. 157-163.
2. Щеголева Н.Е. Композиционные материалы, армированные волокнистым наполнителями / Щеголева Н.Е., Гращенков Д.В., Ваганова М.Л. // Перспективные материалы – 2014. – №8. – С. 22-30.
3. Вознесенський В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Вознесенський В.А. // Наукова думка – 2010. – 144 с.
4. Савчук П.П., Косторнов А.Г. Особливості впливу процесів модифікації на триботехнічні характеристики епоксидних композиційних матеріалів // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн.зб. – К.: НАУ. – 2010. – Вип. 48. – С. 135-148.
5. Буднік О. А. Підвищення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей триботехнічних ПТФЕ композитів методами механічної активації / Буднік О.А., Берладір Х.В., Буднік А.Ф., Руденко П.В. // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – Т. 4. – №6. – С. 130-139.
6. Люшук О.М. Оптимізація процесу модифікації епоксиполімерів кремнійорганічним лаком / О.М. Люшук, П.П.Савчук, В.П. Кашицький, Д.М. Матрунчик // Міжнародне періодичне наукове видання "International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" № 4(20), Vol.2, April 2017, Dubai, UAE. – С. 27-32.

Сучасні функціональні матеріали з ефектом пам'яті форми медичного призначення

Кедровський Сергій, Коваль Юрій, Сліпченко Вячеслав

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України,
бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна
sergeyv88001@gmail.com

Анотація. Розглянуто сучасний стан промисловості функціональних матеріалів медичного призначення. Окрім основного матеріалу Ti-Ni, активно йдуть дослідження сплавів на основі біосумісних елементів IV та V груп періодичної системи хімічних елементів на предмет наявності мартенситного перетворення та придатних для практичного застосування їх функціональних властивостей. Сплави на основі систем Ti-Nb, Zr-Nb, Zr-Nb-Ta є перспективними для медичного застосування.

Ключові слова: мартенситне перетворення, ефект пам'яті форми, біосумісні матеріали.

В сучасному світі, з постійно зростаючою кількістю захворювань, і де збільшується кількість людей, які потребують медичної допомоги, розробка нових і ефективних матеріалів для лікування та діагностики хвороб стає все більш актуальним завданням. Одним з перспективних напрямків у цій галузі є функціональні матеріали, які через механізм мартенситного перетворення (МП) мають такі унікальні властивості, як ефект пам'яті форми (ЕПФ), надпружність, надпластичність, висока демпфуюча здатність. Ці матеріали можуть бути використані в різних галузях медицини, у тому числі у хірургії, стоматології, ортопедії та інших для створення спеціального інструменту або імплантів, таких як судинні стенти та кардіоваскулярні протези, скоби для лікування переломів кісток або захворювань суглобів, а також для розробки перспективних саморегулюючих медичних пристроїв і обладнання, біосенсорів, які можуть бути використані для моніторингу різних параметрів в організмі пацієнта.

Серед великої кількості функціональних матеріалів з особливими фізико-механічними властивостями тільки дві металічні системи: Ti-Ni та Cu-Al-X (X – Ni, Mn) знайшли достатньо широке практичне використання. Сплави на основі системи Cu-Al не є біосумісними. А от сплави на основі системи Ti-Ni вже відіграють свою важливу роль в медичній практиці. Проте вирішення нових завдань та проблем техніки і медицини потребує розробки і освоєння нових безнікелевих біосумісних металевих композицій із подібними властивостями. Задача достатньо складна і досі виключно емпірична.

Одним з сучасних напрямків вирішення цієї задачі є дослідження сплавів на основі біосумісних елементів IV та V груп періодичної системи хімічних елементів на предмет наявності мартенситного перетворення та придатних для практичного застосування їх функціональних властивостей. Металеві композиції, що використовують різні варіації Ti, Zr, Hf, Nb і Ta є перспективними для медичного застосування.

Вже добре відомі функціональні сплави системи титан-ніобій, у яких функціональні властивості реалізуються в загартованому стані за рахунок механізму $\beta \rightarrow \alpha''$ мартенситного перетворення [1]. По аналогії з цією системою МП та ЕПФ були знайдені і в сплавах системи Zr-Nb, де за функціональні властивості відповідає ГЦУ α' -фаза [2].

Також на даний момент ЕПФ зафіксовано в сплавах $Zr_{94}Ta_6$ та $Zr_{86}Nb_7Ta_7$, коефіцієнт відновлення форми в яких сягає 95%.

Описані вище сплави на основі титану та цирконію було розглянуто в процесі розроблення технології виготовлення каркасу аортального клапану та медичного інструментарію з безнікелевих біосумісних сплавів з ефектом пам'яті форми медичного застосування. Такі сплави досить добре піддаються з'єднанню методами лазерного зварювання для створення складних конструкцій. Але встановлено, що в зоні, де відбувається перекристалізація матеріалу під дією термічного впливу лазерного випромінювання, можливість відновлення форми не зберігається, на відміну від сплавів системи Ti-Ni. Для відновлення функціональних властивостей потрібне повторне гартування матеріалу.

Список посилань

1. Yu. M. Koval', S. S. Kovbosh, V. V. Odnosum, V. M. Slipchenko, and G. S. Firstov, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 32, No. 12: 1681 (2010) (in Russian).
2. S. N. Kedrovsky, Yu. N. Koval', and V. N. Slepchenko, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 36, No. 12: 1651 (2014) (in Russian).

Електрифікація громадського транспорту узаконена

Кишун Володимир [0000-0003-4019-8034]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
kyshchun52@ukr.net

Анотація. Розглядається закон, спрямований на стимулювання розвитку в країні електротранспорту та його інфраструктури. Нові правила сприятимуть зниженню кількості шкідливих викидів в атмосферу та популяризуватимуть використання екологічно чистого транспорту.

Окремі положення закону запроваджують обмеження на експлуатацію транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння з поступовим переходом до нових норм. У населених пунктах із загальною чисельністю населення понад 250 тисяч осіб частка електричних автобусів на міських маршрутах до 2027 року повинна становити не менше 25%, а до 2030 року – не менше 50%. Повний перехід на електроавтобуси має відбутися до 2033 року.

Також закон забороняє купувати нові автобуси з двигунами внутрішнього згоряння у якості міського транспорту з 2026 року для міст з населенням понад 250 тисяч осіб та з 2027 року для всіх інших населених пунктів. Винятками є автобуси з двигунами на водні та метані. Водночас місцева влада дозволить коригувати термін запровадження цих обмежень.

Швидкий перехід на використання екологічного транспорту сьогодні є цілком виправданим, однак потребуватиме значної фінансової підтримки.

Ключові слова: законодавчий акт, електробус, термін впровадження, частка впровадження, фінансова підтримка.

1. Вступ

Верховна Рада у березні 2023 року ухвалила закон №8172 спрямований на формування державної політики у сфері автомобільного електротранспорту. Закон отримав назву «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів». Автори законопроекту вважають, що нові правила знизять кількість шкідливих викидів в атмосферу, популяризують екологічно чистий транспорт, дадуть змогу розвивати мережу зарядних станцій та, принагідно, у такий спосіб дотримуватися угоди про асоціацію з ЄС.

2. Результати досліджень

У законі наведено визначення електричних транспортних засобів, передбачено полегшений доступ до електричної інфраструктури для зарядних станцій, а також визначено строки переходу громадського транспорту на екологічно чисті види енергії.

Закон №8172 складається з п'яти статей і охоплює три основні групи питань:

- терміни електромобільності та їх значення;
- громадський транспорт – поступова заміна автобусів з дизельними двигунами на електробуси з визначеним дедлайном (крайніми строками);
- станції зарядки електромобілів – встановлення, підключення, фінансування, а також їх розміщення на парковках, у житлових комплексах і об'єднаннях багатоквартирних будинків.

Визначення термінів передбачено першою статтею Закону. Всього наводиться 11-ть дефініцій, зокрема такі: автомобіль з водневим паливним елементом (коміркою) – автомобіль (автобус, автомобіль вантажний), оснащений виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома), які працюють за рахунок енергії, отриманої з водню; електробус з подовженим запасом ходу – різновид електробуса з двигуном внутрішнього згорання, який не з'єднаний з трансмісією, тобто не бере участі в пересуванні транспортного засобу та призначений лише для обертання електрогенератора, оснащений та приводиться в рух виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома), системою акумуляування електричної енергії (акумуляторною батареєю), яка здатна заряджатися шляхом підключення до зовнішнього джерела електричної енергії; електробус – автобус, оснащений виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома) системою акумуляування електричної енергії (акумуляторною батареєю), яка здатна заряджатися шляхом підключення до зовнішнього джерела електричної енергії [1].

Зміни, які передбачені у сфері громадського транспорту, відображені у Законі України «Про автомобільний транспорт» у 44 статті. Виглядають вони так: «На міських автобусних маршрутах загального користування у містах із загальною чисельністю населення понад 250 тисяч осіб кількість електробусів та/або «екологічних» автобусів¹ у відсотковій частці серед парку автобусів повинна становити не менше ніж 25 відсотків на 1 січня 2030 року, не менше ніж 50 відсотків на 1 січня 2033 року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст» [1].

Також громадського транспорту стосуються 9 і 10 пункти викладені у статті 5 закону №8172:

«9. До перевезень пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування в режимі регулярних пасажирських перевезень у містах районного та обласного значення з 1 січня 2036 року допускаються виключно електробуси (в тому числі електробуси з подовженим запасом ходу) та/або «екологічні»* автобуси, якщо рішення щодо інших термінів не було

ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

10. У містах з населенням понад 250 тисяч осіб:

– з 1 січня 2028 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту понад 50 відсотків автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім «екологічних» автобусів) протягом календарного року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст;

– з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім «екологічних» автобусів), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

В усіх інших населених пунктах:

з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім «екологічних» автобусів), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних населених пунктів» [1].

Органи місцевого самоврядування можуть ухвалити рішення щодо зміни зазначених часток чи термінів, але у межах рекомендованих цим Законом.

У результаті запровадження закону склад громадського транспорту в Україні мав би досить швидко змінюватися, а досягнення встановлених показників позитивно вплинуло б на чистоту повітря українських міст. Проте у експертному середовищі є сумніви щодо того, чи вдасться виконати плани, встановлені законодавцями. І у першу чергу виникає питання, чи економічно обґрунтованим є прискорений перехід на електробуси.

«Зараз наші міста купують або отримують в якості допомоги від європейців велику кількість автобусів, які можна буде використовувати протягом довгого часу, – пояснює директор асоціації «Енергоефективні міста України» Святослав Павлюк. – Проте за законом виходить, що їх потрібно буде через кілька років здати на металобрухт і купити нові електробуси. І тут виникає питання: «А чи має Україна достатні виробничі потужності та фінансові ресурси для того, щоб так швидко замінити весь парк міських автобусів?» [2].

Друга проблема – це підвищення вартості проїзду у громадському транспорті, через значні витрати з міських бюджетів на закупівлю нових електричних автобусів. І сьогодні немає розрахунків щодо того, наскільки дорожчим може стати квиток у разі використання електробусів.

Натомість, у законі чомусь не згадується такий екологічний вид громадського транспорту, як тролейбус. Власне полегшити навантаження на міський бюджет можна тим містам, які беруть участь у спільних з

* «екологічні» автобуси – словосполучення, яке замінює у тезах дослівно: «автобуси оснащені двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та/або автобуси з водневим паливним елементом (коміркою)».

Європейським інвестиційним банком проектах і мають розвинені тролейбусні мережі. Так, впродовж 2022 року у рамках проекту «Міський громадський транспорт України I» та підпроекту «Оновлення інфраструктури електротранспорту міста Луцька Волинської області», місто отримало 17 нових тролейбусів та запасні частини й обладнання для ремонту й обслуговування рухомого складу, профінансовані Європейським інвестиційним банком. А всього було надано 29 нових тролейбусів [3].

У квітні 2023 року Луцьк отримав погодження на фінансування нового проекту з придбання вже 30 тролейбусів. На засіданні Керівного комітету проекту «Міський громадський транспорт України II», ухвалено рішення про затвердження субпроекту «Оновлення тролейбусного парку м. Луцька» з обсягом фінансування від Європейського інвестиційного банку на суму €6,33 млн. [3]. Наступним кроком стане оголошення тендеру на закупівлю 30 нових тролейбусів, шість з яких матимуть електричні установки автономного ходу. Це дасть можливість здійснювати тролейбусні перевезення навіть у тих місцях, де відсутня контактна мережа. Оновлення та розширення парку електротранспорту дозволить замінити на маршрутах, у тому числі автобуси з двигунами внутрішнього згорання, та покращити екологію у місті.

Варто зазначити, що якщо тендер виграють зарубіжні виробники, то частина коштів піде на розмитнення, зокрема безпосередньо 15% мита. А це щонайменше додатково 4–5 нових тролейбусів. І хоча питання обнулення податків на тролейбуси піднімалося у Верховній Раді ще у 2014 році, однак до сьогодні воно не врегульоване, як і для електробусів, для яких мито складає 10% [4].

Підбиваючи підсумки можна констатувати, що наміри українського парламенту прискорити перехід на використання екологічного транспорту є цілком слушними, однак потребуватимуть додаткової, як зовнішньої, так і внутрішньої (державної) фінансової підтримки.

Список посилань

1. Закон України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрорядної інфраструктури та електричних транспортних засобів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>.
2. Роберт Василь. Транспорт «зеленіє»: як українців хочуть пересадити на електрокари. URL: <https://apostrophe.ua/ua/article/economy/transport-i-svjaz/2023-04-29/transport-zeleneet-kak-ukraintsev-hotyat-peresadit-na-elektrokaryi/51796>.
3. У Луцьку буде 30 нових тролейбусів. URL: <https://www.volynpost.com/news/220469-u-lucku-bude-30-novyh-trolejbusiv>.
4. Додаток до Закону України «Про Митний тариф України» від 19 жовтня 2022 року № 269-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697%D0%B1-20#Text>.

Еволюція структурного стану твердого сплаву у процесі експлуатації різального інструменту

Клименко Сергій ^[0000-0003-1464-3771], Копейкіна Марина ^[0000-0002-5956-5503],
Мельнічук Юрій ^[0000-0003-4529-2775]

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, Київ, 04074, Україна
atmu@meta.ua

Анотація. Розглянуто зв'язок між параметрами, що характеризують структурний стан твердого сплаву, та зносом оснащеного ним інструменту. Найбільшу стійкість має інструмент, структура композиту якого характеризується високими значеннями фрактальних параметрів однорідності та впорядкованості та мінімальними значенням розмірності.

Ключові слова: Твердий сплав, мультифрактальний аналіз, знос.

1. Вступ

Стійкість різального інструменту, оснащеного твердим сплавом, обумовлена його фізико-механичними властивостями, які пов'язані зі структурними особливостями: розміром карбідних зерен, наявністю великих зерен та однорідністю їх розподілу, станом границь зерен, а також розміром кобальтових прошарків, наявністю графітових включень та пор, їх розміром і характером розташування в об'ємі матеріалу. У залежності від умов термобаричного навантаження на інструменті, яке супроводжує процес різання, структура твердого сплаву зазнає деяких змін та, відповідно, змінюються фізико-механічні властивості матеріалу. Інтенсивність такої еволюції обумовлює термін ефективної експлуатації інструменту для конкретних умов експлуатації.

2. Результати досліджень

Розглянемо еволюцію структури композиту на прикладі титанотанталовольфрамового сплаву ТТ7К12, використаного у різальному інструменті при обробці з ударним навантаженням зразка зі сталі 40Х (40 HRC), з використанням положень мультифрактальної параметризації (рис. 1). За псевдоспектрами узагальнених ентропій Реньї розглянуті мультифрактальні показники – розмірність Хаусдорфа-Безиковича (D_0), параметри однорідності (F_{40}) і упорядкованості $\Delta_{40} = |D_1 - D_{40}|$. Механічні властивості поверхневого шару твердого сплаву визначалися з використанням методу склерометрування алмазним індентором.

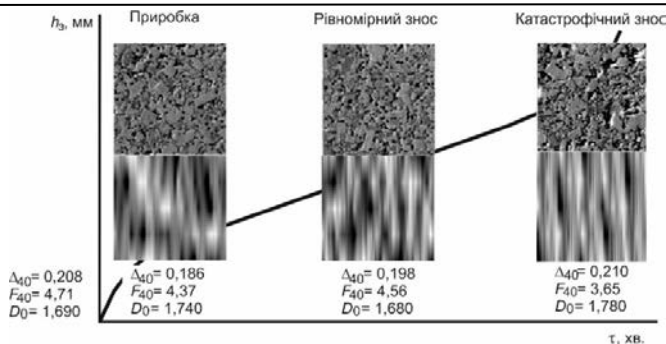


Рис. 1. Еволюція структури і візуалізованої сукупності механічних властивостей поверхневого шару, показники фрактального аналізу структури твердого сплаву на різних етапах зносу інструменту

Встановлено, що у порівнянні зі зразками вихідного твердого сплаву у результаті термобаричного навантаження інструменту, яке супроводжує процес різання, відбувається поступове зниження параметрів однорідності F_{40} і збільшення параметра упорядкованості Δ_{40} структури. Спільний вплив параметрів F_{40} і Δ_{40} на знос інструменту відображений на рис. 2, *а*. Перед катастрофічною стадією зносу відзначається більш інтенсивна зміна обох параметрів. Зміна розмірності D_0 характеризується наявністю двох ділянок з підвищеною інтенсивністю збільшення показника (рис. 2, *б*), що пов'язано з умовами прироблювання і катастрофічного зносу інструменту.

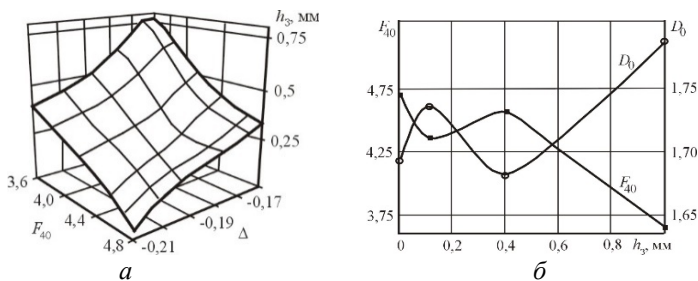


Рис. 2. Зміна мультифрактальних параметрів структури твердого сплаву у процесі зношування інструменту

Еволюція структури твердого сплаву у процесі різання з динамічним навантаженням переважно обумовлюється утворенням мікротріщин у межзеренних областях, їх зростанням і розшаруванням матеріалу в цілому. Вищенаведені результати досліджень свідчать про перспективність використання мультифрактальної параметризації для кількісного опису структурних змін, що мають місце в структурі інструментальних композитів як при їх виготовленні, так і в експлуатації.

Зміна мультіфрактальних параметрів свідчить про адаптацію структури твердого сплаву до виникаючого у процесі обробки динамічного навантаження шляхом певної її перебудови (наприклад, ущільненням, що відповідає зменшенню величини D_0). Під впливом виникаючих у процесі різання напружень і температури відбувається певне перегрупування частинок карбідів вольфраму. Проте, у всіх випадках перед катастрофічною стадією зносу інструменту спостерігається значне зростання фрактальної розмірності D_0 , що свідчить про зростання дефектності та ушкодженості матеріалу.

Аналіз мультіфрактальних параметрів дозволяє зробити висновок щодо рівню запасу адаптивності структури твердого сплаву до зовнішнього впливу у залежності від зносу різального інструменту – найбільш працездатний твердий сплав, структура якого відповідає стадії приробки, а адаптація структури сплаву до умов термобаричного навантаження інструмента в процесі різання реалізується за рахунок квазіпружних деформацій.

Отримані результати показують, що між мультіфрактальними характеристиками структури поверхні та механічними властивостями поверхневого шару твердого сплаву спостерігається тісний кореляційний зв'язок (див. рис. 1). Так, між розміром глибини вдавлювання індентора H_{cp} у поверхневий шар зразка твердого сплаву та розмірністю Хаусдорфа-Безиковича (D_0) структури є лінійна залежність $H_{cp} = -15,24 + 11,56D_0$ з коефіцієнтом кореляції 0,91.

У процесі зношування інструменту властивості твердого сплаву змінюються: – на стадії приробки інструменту матеріал характеризується високими значеннями середньоквадратичного відхилення глибини вдавлювання індентора σ_H ; – на етапі рівномірного зносу інструменту спостерігається поступове зниження D_0 і σ_H та зростання глибини вдавлювання індентора H_{cp} ; – на катастрофічній стадії зносу інструменту відбувається значне зростання D_0 , величина глибини вдавлювання індентора H_{cp} знижується нижче рівня, характерного для вихідного матеріалу.

3. Висновки

Отримані результати свідчать: – більші значення фрактальної розмірності структури (D_0) та величини середньоквадратичного відхилення глибини вдавлювання індентора (σ_H), що характеризують механічні властивості поверхневого шару матеріалу, відповідає твердому сплаву, для якого притаманне більш інтенсивне зношування у різальному інструменті при обробці з динамічним навантаженням; – для підвищення стійкості інструменту з твердого сплаву в умовах різання з динамічним навантаженням необхідно використовувати матеріали із структурою, що характеризується максимально високими значеннями фрактальних параметрів однорідності та впорядкованості структури (по модулю для псевдоспектрів) і мінімальними значенням D_0 .

П'єзоелектричні властивості монокристалів антимоніду кадмію до та після γ -опромінення

Коваль Юрій ^{1[0000-0002-4570-8024]}, Федосов Сергій ^{2[0000-0003-3457-8911]},
Ящинський Леонід ^{1[0000-0003-3018-3904]}, Захарчук Дмитро ^{1[0000-0002-1988-5027]},
Панасюк Леонід ^{1[0000-0002-5988-4731]}

¹ Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

² Волинський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Воли, 13, Луцьк, 43025, Україна
y.koval@lntu.edu.ua

Анотація. Досліджено температурні залежності коефіцієнтів п'єзоопору монокристалів антимоніду кадмію, легованих телуром, до та після γ -опромінення. Встановлено, що після опромінення інтервал зміни знаку коефіцієнта п'єзоопору (π) зміщується в область більш високих температур, а його абсолютна величина значно зменшується порівняно з неопроміненими кристалами. Зсув точки зміни знаку π в область більш високих температур пояснюється тим, що більш глибокий рівень, який з'являється після γ -опромінення, починає деіонізуватися при вищих температурах. В свою чергу, зміна абсолютної величини коефіцієнта п'єзоопору вказує на те, що ефект п'єзоопору в таких кристалах обумовлений двома причинами: по-перше, зміщенням долин зони провідності при деформації, та, по-друге, зміною енергетичної щільності між глибоким рівнем та долинами.

Ключові слова: п'єзоопір, антимонід кадмію, опромінення.

Експерименти з гідростатичним або одноосьовим тиском вносять свій вклад до структури зон твердих тіл, оскільки через зовнішній тиск можуть бути змінені, як параметри кристалічних решіток, так і симетрія кристалів. Експериментально найпростішим є дослідження впливу малих тисків на кінетичні ефекти, особливо на провідність (ефект п'єзоопору), хоча покази вимірювань є не завжди однозначними, оскільки зі збільшенням тиску можуть змінюватися, як концентрація носіїв заряду, так і їх рухливість.

При односторонній деформації напівпровідника знімається виродження або змінюється енергетичне положення екстремумів в зонах, що дає цінну інформацію про зонну структуру кристалу. Відомі дослідження ефекту п'єзоопору в напівпровідникових монокристалах, що дали можливість одержати принципово важливі результати про енергетичний спектр носіїв заряду в них. Особливо перспективними та результативними є дослідження при одновісній пружній деформації кристалів з домішковими центрами, які мають глибокі енергетичні рівні у забороненій зоні [1].

В даній роботі досліджувався ефект п'єзоопору монокристалів CdSb, які містять глибокі енергетичні рівні у забороненій зоні. Сурм'янистий кадмій був легований домішкою телуру. γ -опромінення кристалів проводилося від джерела ^{60}Co з інтенсивністю $6 \cdot 10^{12}$ γ -кв/см² різними дозами до 10^{18} γ -кв/см². Досліджувані зразки розмірами $0,1 \times 0,1 \times 1$ см³ вирізалися вздовж напрямку [010]. Вимірювання п'єзоопору проводилися в інтервалі температур $77 \div 350$ К. Механічне напруження одновісного стиску було рівним $5 \cdot 10^7$ дин/см².

З температурних залежностей коефіцієнта п'єзоопору π (рис. 1) для кристалів CdSb(Te) до (крива 1) та після γ -опромінення (крива 2) видно, що для неопромінених кристалів в області вищих температур значення π мале, практично стає і має позитивний знак. Проте ситуація різко змінюється, коли при $T < 250$ К починається деіонізація глибокого рівня, який належить атомам телуру. Коефіцієнт п'єзоопору змінює свій знак (набуваючи при цьому порівняно більші абсолютні значення), проходить через максимум та ще раз змінює знак при температурах близьких до 77 К.

$\pi \cdot 10^{12}$, см²/дин

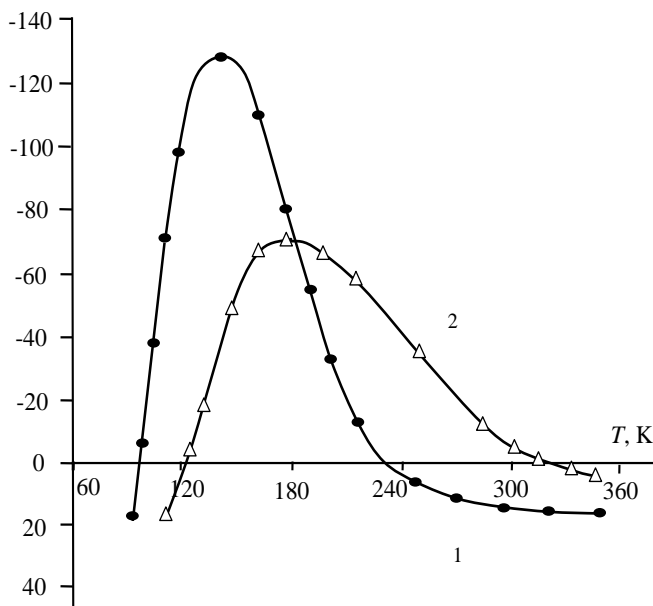


Рис. 4. Температурні залежності коефіцієнта п'єзоопору для монокристалів CdSb(Te):

1 – до опромінення; 2 – після γ - опромінення дозою $\Phi \sim 10^{18}$ кв/см²

Такий незвичний хід залежності коефіцієнта п'єзоопору від температури корелює з температурною залежністю фактора анізотропії провідності [2].

Після γ – опромінення інтервал зміни знаку коефіцієнта п'єзоопору зміщується в область більш високих температур (рис. 1, крива 2), а його абсолютна величина значно зменшується порівняно з неопроміненими кристалами.

Зсув точки зміни знаку π в область більш високих температур пояснюється тим, що більш глибокий рівень, який з'являється після γ – опромінення, починає деіонізуватися при вищих температурах. В свою чергу, зміна абсолютної величини коефіцієнта п'єзоопору вказує на те, що ефект п'єзоопору в таких кристалах обумовлений двома причинами: по-перше, зміщенням долин зони провідності при деформації, та, по-друге, зміною енергетичної щільності між глибоким рівнем та долинами.

Список посилань

1. Баранський П.І., Федосов А.В., Гайдар Г.П. Фізичні властивості кристалів кремнію та германію в полях ефективного зовнішнього впливу. – Луцьк: Надстир'я, 2000. – 280 с.
2. Анатичук Л.І., Лусте О.Я., Раренко І.М., Яремійчук Б.С. Анізотропія електропровідності n-CdSb // УФЖ. – 1970. – Т.14, №7. – С. 1214-1215.

Система адаптивного управління процесом механічної обробки на важких верстатах

Ковальов Віктор ^[0000-0001-5091-5856], Васильченко Яна ^[0000-0002-4566-8827],
Шаповалов Максим ^[0000-0002-8039-8834], Хорошайло Вадим ^[0000-0001-6539-8329],
Станкова Марина ^[0009-0001-6527-8885]

Донбаська державна машинобудівна академія,
вул. Академічна, 72, Краматорськ, 84313, Україна
wasilchenko.ua@gmail.com

Анотація. Виявлено значущі параметри і розроблені математичні моделі для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом механічної обробки на важких верстатах. Регулювання процесу обробки полягає в тому, щоб, виходячи з наявності первинних параметрів, що характеризують обраний тип заготовки і прийнятого методу обробки, змінюючи керовані параметри, впливати на параметри регулювання і домогтися отримання необхідних технологічних параметрів. Розроблені схеми, принципи роботи та конструкції мехатронних верстатних вузлів, вимірювальних та діагностичних засобів для реалізації адаптивного управління. Адаптивне управління на важкому токарному верстаті з ЧПК реалізовано шляхом використання програмованих логічних контролерів із завданням необхідних законів управління: управління швидкістю різання для досягнення оптимальної температури і управління подачею для регулювання сили різання. Це дозволяє коригувати розроблену програму ЧПК в процесі обробки при зміні зовнішніх впливів на технологічну систему. Розроблено та впроваджено багаторівневу систему прийняття рішень з елементами штучного інтелекту для автоматичного керування процесами різання на адаптивному обладнанні. Результати роботи впроваджені при створенні важких токарних верстатів нового покоління, а також при модернізації важких токарних верстатів. Розроблені і впроваджені системи адаптивного управління та програмні продукти для вибору регламентів експлуатації важких верстатів.

Ключові слова: важкий верстат, адаптивне керування, процес різання, мехатронні системи.

Запропоновано концепцію автоматичного управління процесом різання на адаптивному обладнанні. Регулювання процесу обробки полягає в тому, щоб, виходячи з наявності первинних параметрів, що характеризують обраний тип заготовки (матеріал, розмір, припуск і т.д.) і прийнятого методу обробки (верстат, пристосування, схема різання, технологічне середовище), змінюючи керовані параметри (режими різання, варіант і геометричні параметри

інструменту, параметри і структура несучої системи верстату), впливати на параметри регулювання (механіка процесу різання, наростоутворення, стружкодробління, теплові явища, сила, потужність різання, вібрації) і домогтися отримання необхідних технологічних параметрів (точність, якість поверхні, стійкість інструменту, міцність інструменту, продуктивність, економічність, форма стружки).

Проведено експериментальну перевірку оптимальних параметрів процесу різання. Встановлено взаємозв'язки між режимами різання і параметрами технологічної системи. Отримано стійкісні залежності, які складають основу системи оптимального управління.

Адаптивне управління на важкому токарному верстаті з ЧПК реалізовано шляхом використання програмованих логічних контролерів (PLC) із завданням необхідних законів управління, а саме: управління швидкістю різання для досягнення оптимальної температури і управління подачею для регулювання сили різання. Це дозволяє коригувати розроблену програму ЧПК в процесі обробки при зміні зовнішніх впливів на технологічну систему.

Розроблено блок-схеми адаптивного оптимального управління процесом обробки на важкому токарному верстаті, що реалізують систему прийняття рішень, розроблено спеціальне програмне забезпечення.

Розроблено систему, яка призначена для автоматичної підтримки заданого значення сили різання при повздовжньому точінні на важких токарних верстатах з метою отримання максимальної продуктивності обробки при виключенні перевантажень різального інструменту. Це стабілізує система автоматичного регулювання швидкості подачі, що складається з таких частин (рис. 1): датчика сили різання 1 тензометричного типу, пристрою порівняння 2, пристрою завдання номінальної сили різання 3, пропорційного або пропорційно-інтегрального регулятора 4, електронного аналога інерційного елемента з керованою постійної часу 5 і обмежувального пристрою 6. Вихід останнього елемента є керуючим сигналом для приводу повздовжньої подачі 7.

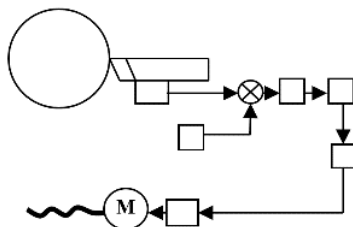


Рис. 1. Структурна схема системи оптимального управління швидкістю подачі за силою різання

Розроблені динамічні моделі системи, на рис. 2 наведено алгоритм

роботи системи автоматичного регулювання подачі.

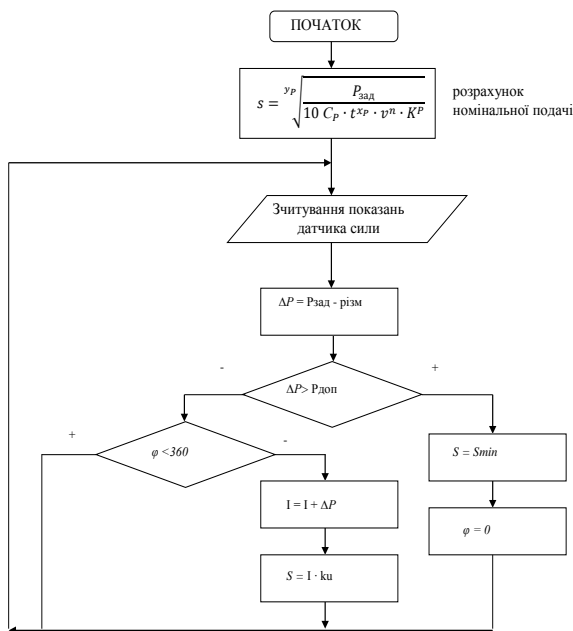


Рис. 2. Алгоритм роботи системи автоматичного регулювання подачі

Аналогічно розроблені алгоритми коригування швидкості різання з метою підтримки оптимальної температури в зоні різання. блок-схема алгоритму регулювання швидкості різання.

Застосування таких систем істотно підвищує надійність технологічної системи. Крім того, реалізація системи на базі контролерів електроавтоматики верстату значно знижує витрати на модернізацію існуючих верстатів з ЧПК.

Список посилань

1. Kovalov V. D. Modern trends in metalworking, Scientific Monography / Editor: Predrag Dašić, Vrnjačka Banja: SaTCIP Publisher Ltd. (Serbia), Vol. 1, 2018. – 350 pp. ISBN 978-86-6075-065-7.
2. Kovalov V., Vasilchenko Y., Dašić P. Development of the integral complex of optimal control of heavy machine tools adaptive technological system for wind-power engineering parts // 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu Mures, Romania Volume 9, 2015, pp. 145-152 <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.022>.

Наповненість профілю шорсткої поверхні, отриманої при алмазно-абразивній обробці, як один з факторів її тримальної здатності

Лавріненко Валерій ¹[0000-0003-2098-7992], Солод Володимир ²[0000-0002-7516-9535]

¹ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, Київ, 04074, Україна
lavrinen52@gmail.com

² Дніпровський державний технічний університет,
вул. Дніпробудівська, 2, Дніпропетровська обл., Кам'янське, 51918, Україна
v_solod@ukr.net

Анотація. Показано для опорної кривої шорсткої поверхні, що чим більшими є показники tr , наприклад на рівні 20 чи 50 % R_{max} , тим більшою є наповненість шорсткої поверхні і тим більшою є її тримальна здатність.

Ключові слова: шорстка поверхня, опорна крива, тримальна здатність.

Опорна крива характеризує структуру нерівностей в тому сенсі, що показує закономірність наростання площі опори у вибраному перерізі при зближенні (в процесі контактування) абсолютно гладенького тіла з даною поверхнею.

Площа поверхні, що розташована нижче опорної кривої, якраз і характеризує наповненість шорсткої поверхні обробним матеріалом. А це означає, що чим вище піднімається опорна крива, тобто чим більшими є показники tr , наприклад на рівні 20 чи 50 % R_{max} , тим більшою є наповненість шорсткої поверхні і тим більшою є її тримальна здатність. Покажемо це на прикладі реальних мікронерівностей обробленої алмазним шліфуванням поверхні (рис. 1) і їх опорних кривих. На рис. 1, *a, б* наведена стандартна шорстка поверхня, коли показник t_{20} складає 5 %, а показник t_{50} складає 65 %. У випадку, коли у нас формується нестандартна шорстка поверхня (див. рис. 1, *в, г*), коли показник t_{20} складає 2 %, а показник t_{50} складає 12 %, то саме це і свідчить про те, що тут і формується оброблена поверхня із зниженою тримальною здатністю.

Кореляційний зв'язок між Ra та tr нами досліджений для відносної опорної довжини профілю tr в різних перерізах висоти шорсткості обробленої поверхні. Переважної тенденції впливу якогось метода чи способу обробки, або оброблюваного матеріалу на формування параметра t_{50} нами не виявлено. Так, глибинне шліфування в одному випадку, наприклад твердих сплавів, характеризується ростом t_{50} із підвищенням Ra , а оксидно-карбідної кераміки – до зниження. Аналогічно, зниження параметра t_{50}

спостерігається і при глибокому шліфуванні швидкорізальної сталі. Взагалі слід враховувати такий характер зміни параметра t_{50} від величини Ra , оскільки, наприклад, при глибокому і багатопохідному шліфуванні швидкорізальної сталі заповненість профілю на рівні 50% $R_{max}(t_{50})$ при $Ra=1,0$ мкм є приблизно однаковою і складає біля 60%, тоді як при $Ra=0,1$ мкм глибоке шліфування забезпечує заповненість профілю на цьому рівні – 78%, а багатопохідне – тільки 40%. В певній мірі це підкреслює переваги глибокого шліфування при умові забезпечення невисокої шорсткості обробленої поверхні.

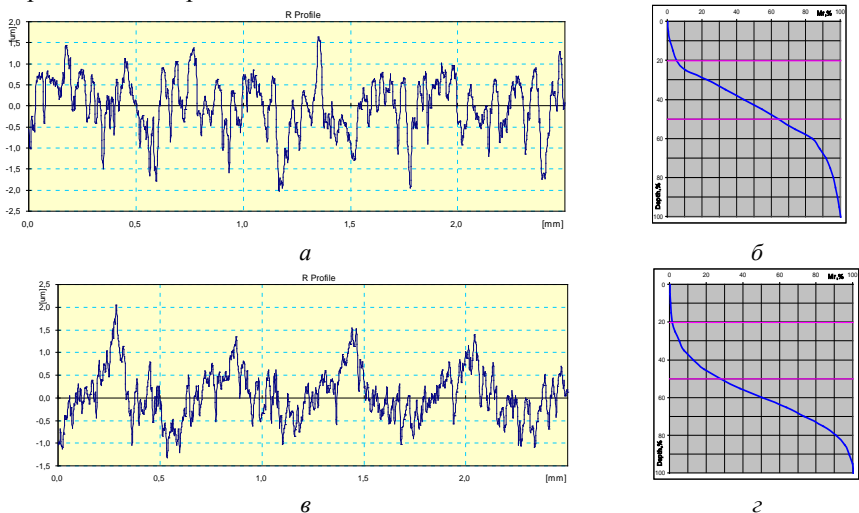


Рис. 1. Профілограми (а, в) і криві відносної опорної довжини профілю (б, з) поверхні, обробленої алмазним кругом, при отриманні стандартної тримальної здатності поверхні (а, б) і поверхні із зниженою тримальною здатністю (в, з) при шліфуванні твердого сплаву

Додатково нами виявлено, що наявність певного впливу на оброблювану поверхню приводить до зміни її тримальної здатності. Розглянемо це на прикладі впливу плазмової обробки на зміну морфології та елементного складу поверхневого шару твердосплавного інструменту після алмазного шліфування і, як наслідок, на його експлуатаційні показники. Виявлено, що плазмовий вплив середньої потужності, коли ще не відбувається оплавлення поверхні, загалом позитивно впливає на оброблювану поверхню, відбувається певне її впорядкування і значне покращення опорної поверхні. Плазмовий вплив з оплавленням погіршує як висотні показники мікронерівностей, так і тримальну здатність поверхні.

На завершення розглянемо особливості формування обробленої поверхні із спеціальним мікропрофілем підвищеної наповненості, тобто

тримальної здатності, з так званими «мастильними кишнями» [1]. Виявлено, що суміш в робочому шарі алмазного круга компактів з мікропорошків cBN [2] з алмазами дає найменші показники шорсткості обробленої поверхні і, ймовірно, це пов'язане з тим, що вони зношуються не виколками, а як би пошарово, і тому різальна здатність зерна не поновлюється, зростає контакт площадки ковзання зерна по оброблюваній поверхні. Якраз тут яскраво і спостерігається формування мікронерівностей обробленої поверхні з «мастильними кишнями» (рис. 2), на які вже зверталася увага.

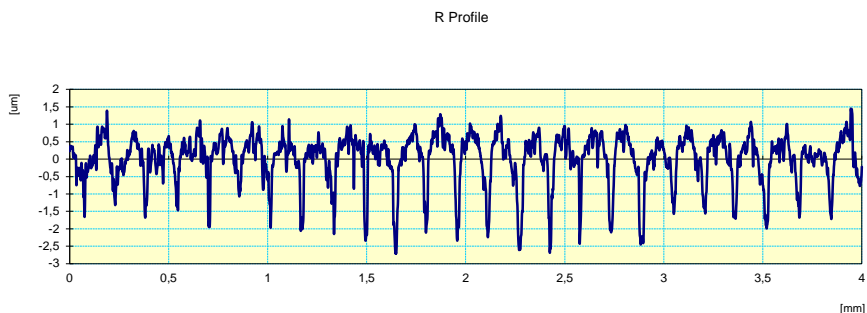


Рис. 2. Профіль мікронерівностей обробленої поверхні кругом із сумішшю шліфпорошків компакту КМ 400/315 і алмаза АС32 400/315

Таким чином, в результаті проведеної роботи доведено, що, одночасне застосування в алмазних шліфувальних кругах зерен компактів з мікропорошків cBN і шліфпорошків алмазних зерен дозволяє досягти зниження шорсткості обробленої поверхні і отримати той специфічний профіль мікронерівностей, коли отримується поверхня із підвищеною наповненістю мікропрофілю та збільшеною тримальною здатністю і коли утворюються певні «мастильні кишні».

Список посилань

1. Чеповецкий И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. К.: Наук. думка, 1978. 238 с.
2. Composites based on cBN micron powders structured by carbon binder for the application as functional elements in the working layer of diamond-abrasive tools. Part 1. Composite grits as abrasive elements / Lavrinenko, V.I., Sytnyk, B.V., Poltorats'kyi, V.G., Bochechka, O.O., Solod, V.Yu. Journal of Superhard Materials, 2014, 36(3), p. 193-198.

Композиційний матеріал на основі відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва машинобудівних заводів

Ляшок Ярослав ^[0000-0002-7643-8485], Подкопаєв Сергій ^[0000-0002-3258-9601],
Повзун Олексій ^[0000-0001-8183-9585], Вірич Світлана ^[0000-0003-4734-345X],
Калиниченко Валерій ^[0000-0002-0598-8076]

Донецький національний технічний університет,
вул. Потебні, 56, Луцьк, 43018, Україна
povzun.aleksey@gmail.com

Анотація. Досліджено відхід ливарних цехів машинобудівних заводів – відпрацьовані формувальні суміші – як кремнеземистий компонент пінобетонних сумішей. За негативним впливом на об’єкти довкілля відпрацьовані формувальні суміші ливарного виробництва є відходом IV класу небезпеки (малонебезпечний відхід). За величиною питомої активності природних радіонуклідів (< 370 Бк/кг) ливарний відхід належить до I класу (тобто відпрацьовані формувальні суміші можна використовувати в будівництві без обмежень). Досліджено відпрацьовані формувальні суміші на піноутворюючу здатність. Визначено кратність і стійкість піни на різних піноутворювачах. Досліджено вплив компонентів ніздрюватобетонної суміші на пороутворюючу здатність піноутворювачів. З шести досліджуваних у роботі піноутворювачів вітчизняного виробництва виявлено найефективніший – смола деревну омилена. Розроблено технологічні параметри приготування ніздрюватобетонної суміші. Як критерії ресурсного оцінювання відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва вжито середню густину пінобетону у сухому стані та його межу міцності на стиск. Досліджуваний пінобетон відповідає вимогам ДСТУ Б. В.2.7-45:2010 Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови: одержано пінобетонні вироби неавтоклавного твердіння середньою густиною не нижче 900 кг/м³ та міцністю на стиск не нижче за 4,5 МПа. Середня густина пінобетону на піску на 1,0-1,2 % вища, ніж на відпрацьованих формувальних сумішах. За середньою густиною досліджуваний пінобетон відноситься до марок D900 і D1000. Межа міцності на стиск пінобетону на піску в середньому на 7 % вища, ніж на відпрацьованих формувальних сумішах. За міцністю на стиск досліджуваний пінобетон належить до класу C3,5 і C5. Пінобетон марки D900 і класу C3,5 відноситься до теплоізоляційного виду, а пінобетон марки D1000 і класу C5 – до конструкційного.

Ключові слова: ливарний відхід, формувальні суміші, пінобетон

1. Вступ

Відповідно до статті 7 Закону України від 22 червня 2017 року № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель» для об'єктів будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту) сертифікація енергетичної ефективності є обов'язковою. При виготовленні енергетичного сертифіката обов'язково враховується інформація в тому числі і про показники приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі, наприклад, зовнішніх стін для I температурної зони (північна частина території України) має бути $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Такі вимоги викликані необхідністю зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів на експлуатацію будівель.

Підвищити термічний опір зовнішніх стін можливо як за рахунок їх товщини, так і внаслідок заміни стінових елементів на вироби з матеріалів підвищеної пористості. Порівняно з традиційними стіновими матеріалами ніздрюватий бетон є найбільш перспективним для зведення зовнішніх стін, оскільки сполучає в собі високі теплоізоляційні і конструктивні властивості.

Актуальність роботи визначена необхідністю одержання теплоізоляційно-конструкційних матеріалів для будівництва, які відрізняються зниженим коефіцієнтом теплопровідності, і одночасним розв'язанням екологічних проблем, пов'язаних з економією палива і природних ресурсів.

Метою роботи є обґрунтування виробництва поризованого матеріалу з використанням відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва на машинобудівних заводах.

2. Матеріали і методи досліджень

Для приготування ніздрюватобетонної суміші використовували такі матеріали:

- відпрацьовані формувальні суміші ливарних цехів машинобудівних підприємств – як кремнеземистий компонент (виробництво ТОВ «Корум Дружківський машинобудівний завод», Донецька область).

За негативним впливом на об'єкти довкілля відпрацьовані формувальні суміші ливарного виробництва є відходом IV класу небезпеки (малонебезпечний відхід) [1].

За величиною питомої активності природних радіонуклідів $A_{\text{сф}} = 29,7\text{-}34,6 \text{ Бк}/\text{кг}$ [2], ($< 370 \text{ Бк}/\text{кг}$) ливарний відхід належить до I класу (тобто відпрацьовані формувальні суміші можна використовувати в будівництві без обмежень).

- кварцовий пісок – родовище Часов-Ярське (м. Часов Яр Донецької

області);

- портландцемент марки 400 ПрАТ «Краматорський цементний завод-Пушка», Донецька область;

- вапно кальцієве негашене Колективного підприємства «Фірма «Азовбудматеріали» (м. Маріуполь Донецької області);

- 6 піноутворювачів вітчизняного виробництва.

- вода відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011.

Кратність піни обчислювали за методикою, викладеною у ДСТУ 3789:2015. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні умови.

Середню густину пінобетону визначали за ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

Міцність на стиск визначали за ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

3. Результати досліджень

З шести досліджуваних у роботі піноутворювачів найефективнішим виявлено смолу деревну омилену.

Значення середньої густини пінобетону на відпрацьованих формувальних сумішах становлять 901-968 кг/м³, що згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови досліджуваний пінобетон відноситься до марок D900 і D1000.

Значення міцності на стиск пінобетону складають 4,3-5,7 МПа (досліджуваний пінобетон належить до класу C3,5 і C5).

4. Висновки

Використання ливарних формувальних сумішей для виробництва пінобетону сприяє розширенню сировинної бази, економії традиційної сировини і енергії, скороченню витрат на виробництво і зниженню цін на будівельні матеріали.

Список посилань

1. Пономаренко О.И., Евтушенко Н.С., Берлизова Т.В. Экология производства ХТС в литейном производстве / О.И. Пономаренко, Н.С. Евтушенко, Т.В. Берлизова // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф., 12–16 сент. 2011 г.: тезисы конф. / под общ. ред. А.Н. Фесенко. – Краматорск: ДГМА, 2011. – С. 145-148.
2. Шалевская И.А., Гутько А.И. Исследование возможности утилизации отходов формовочных смесей / И.А. Шалевская, А.И. Гутько // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. – 2011. – № 4(25). – С. 169-173.

Екрануючі полімерні композиційні матеріали на основі комбінованих волокнистих наповнювачів зі структурою метаматеріалів

Мазна Олександра, Безсмертна Вікторія, Коханий Валерій,
Василенков Юрій

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ, 03142, Україна
mazna@i.ua

Анотація. Розроблені комбіновані волокнисті наповнювачі з вмістом вуглецевих волокон, що мають періодичну і регулярну структуру і можуть бути використані для створення екрануючих полімерних композиційних матеріалів. Дослідження параметрів екранування показали, що ПКМ на основі волокнистих наповнювачів зі структурою метаматеріалів можуть забезпечити зменшення модуля коефіцієнта відбиття сигналу радару до $-10 \div -20$ Дб, що відповідає коефіцієнту поглинання 60-80%.

Ключові слова: Метаматеріали, структура вуглецевого волокнистого наповнювача, екрануючі властивості.

1. Вступ

Перспективним напрямком створення екрануючих ПКМ здатних до поглинання ЕМВ є метаматеріали, в яких в залежності від структури та електромагнітних параметрів функціонального наповнювача (електропровідність, тангенс діелектричних та магнітних втрат), особливостей його розподілення в полімерній матриці, геометричних параметрів і відстані між складовими композитів та ряду інших факторів можуть мати місце різні механізми перетворення енергії ЕМВ, що відрізняються від традиційних ПКМ армованих волокнами. [1, 3].

Розробка метаматеріалів пов'язана з вибором різних параметрів структури, а саме: розмірів, форми, постійного або змінного періоду розташування елементів, що утворюють структуру (відривків дроту, трубочок, кілець, спіралей, і кульок) [2, 4]. При цьому виконувалися вимоги до розмірів структурних елементів: їх величини та відстані між ними повинні бути менше довжини хвилі випромінювання. Для фіксації структурних елементів в просторі, заготовки заливали полімером (діелектриком). Подібний підхід можливий для збірки метаматеріалу нескладної конфігурації з однорідних елементів, але в разі складання з різнорідних елементів, виникає

проблема взаємної орієнтації і їх фіксації в просторі. Ця проблема ускладнюється при виготовленні 2D структур і особливо 3D структур.

2. Вихідні матеріали і методи дослідження

Вуглецеві волокна мають комплекс високих фізичних та механічних властивостей, таких як низька питома вага, електрична та теплопровідність, теплова та хімічна стійкість. За величиною питомої електропровідності та її характером вуглеграфітові матеріали, в тому числі й волокнисті, належать до напівпровідників. За типом провідності карбонізовані волокна межують з напівпровідниками, а графітовані волокна охоплюють проміжок від напівпровідників до провідників. В роботі для створення комбінованих волокнистих наповнювачів для полімерних композиційних матеріалів було використано нитку вуглецеву TohoTenax HTS40 E13 3K 2015 з ПАН прекурсорів.

Дослідження параметрів екранування та поглинання ЕМВ композиційним матеріалом були визначені рефлектометричним методом по коефіцієнту відбиття та послаблення енергії ЕМВ в діапазоні частот 8-12 ГГц.

Комбіновані наповнювачі на основі вуглецевих волокон для екрануючих матеріалів

Трикотажна технологія утокових переплетень (ластик з утком) дає можливість створити односпрямовану структуру з прямих утокових високоміцних та високомодульних вуглецевих волокон. Поверхневу густину трикотажного волокнистого наповнювача в односпрямованих ПКМ можна регулювати плавно і в широкому діапазоні, використовуючи нитки і джгути різної лінійної густини і змінюючи крок їх розподілу у полотні. Таким чином, створюється можливість введення волокнистого функціонального наповнювача до складу ПКМ у вигляді певної регулярної структури з прямих дискретних вуглецевих або інш. волокон с заданою орієнтацією і кількістю в об'ємі (діелектричній матриці) ПКМ.

Трикотажні полотна утокових переплетень з вмістом вуглецевих волокон (рис. 1), що мають періодичну і регулярну структуру, були використані для створення екрануючих полімерних композиційних матеріалів зі здатністю поглинати ЕМВ. Комбінований волокнистий наповнювач для ПКМ з утоково-в'язаних полотен показаний на рисунку 1, в.

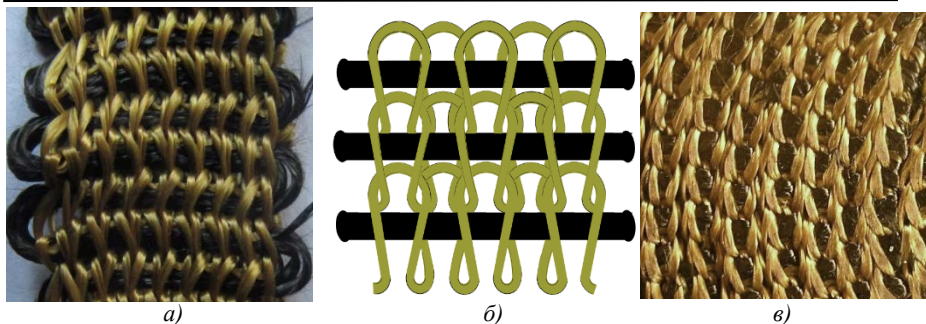


Рис. 1. Волокнистий наповнювач для ПКМ зі структурою метаматеріалу
a) експериментальний зразок, *б)* модель структури,
в) комбінований волокнистий наповнювач

Дослідження параметрів екранування розроблених матеріалів показали, що ПКМ на основі волокнистих наповнювачів зі структурою метаматеріалів можуть забезпечити зменшення модуля коефіцієнта відбиття сигналу радару до $-10 \div -20$ Дб, що відповідає коефіцієнту поглинання 60-80% і мати значно меншу товщину (2-5 мм), порівняно з відомими матеріалами інтерфераційного та градієнтного типів, товщина яких повинна дорівнювати чверті довжини хвилі ($\lambda/4$), що складає, наприклад для діапазону 8-12 ГГц $\approx 9-11$ мм.

Таким чином, метаструктури екрануючих композиційних матеріалів на основі вуглецевого волокнистого наповнювача утокових переплетень, в яких можливо реалізувати механізми багаторівневого поглинання або розсіяння ЕМВ мають великий потенціал для застосування в різних галузях сучасної техніки і можуть бути використані для створення ефективних екрануючих структур у вигляді шарів конструкційних матеріалів техніки або захисних елементів (екранів).

Список посилань

1. Gurwinder Singh. A Review of Metamaterials and its Applications / Gurwinder Singh, Rajni, Anupma Marwaha // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). – 2015. – Vol. 19, no. 6. – P. 305-310.
2. A Review on Metamaterials for Device Applications / N. Suresh Kumar [et al.] // Crystals. – 2021. – No. 11(5). – P. 518.
3. Wojciech Jan Krzysztolik. Metamaterials in Application to Improve Antenna Parameters / Wojciech Jan Krzysztolik, Thanh Nghia Cao // Metamaterials and Metasurfaces. – 2019. – Chapter. 4. – P. 63-85.
4. Microwave Properties of Metacomposites Containing Carbon Fibres and Ferromagnetic Microwires / Yang Luo [et al.] // Research (AAAS). – 2019. – Vol. 2019, no. 6. – P. 1-8.

Формування стратегії розвитку удосконалювання виробничої системи підприємства автосервісу

Макаров Володимир¹, Савенок Дмитро², Мастепан Олена³

¹ Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна

² Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

³ Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна
makarov@vntu.edu.ua

Анотація. Розроблено систему оцінки та аналізу окремих складових виробничої системи підприємства автосервісу, визначені показники оцінки її стану та рівня, розроблена модель обґрунтування напрямків та доцільності розширення виробничої системи.

Ключові слова: автомобілі, підприємство, виробничий процес, обслуговування, ремонт.

1. Вступ

Якісне технічне обслуговування (ТО) та ремонт автомобілів за рахунок потенціалу виробничої системи забезпечує стабільний економічний стан підприємства. На підприємствах необхідно забезпечити стабільний розвиток виробничої системи для виробництва послуг, поглиблення внутрішньої та зовнішньої інтеграції окремих її складових.

Метою роботи є підвищення якості та ефективності виробництва послуг на підприємствах автосервісу використанням механізму сталого розвитку виробничої системи.

2. Результати дослідження

Першим етапом формування стратегії розвитку виробничої системи підприємства автосервісу є оцінка її стану і рівня розвитку [1, 2]. При цьому необхідно контролювати такі показники, як продуктивність праці, обсяг робіт, що приходиться на одного робітника, робочий пост, витрати ресурсів на виробництво одиниці обсягу послуг, собівартість виробництва. Стратегію розвитку необхідно формувати за напрямками розвитку (табл. 1).

Стратегія розвитку виробничої структури повинна розроблятися в таких напрямках: розвиток технологій виробництва послуг з ТО та ремонту, розвиток

потужності виробничої структури, розвиток допоміжної інфраструктури, розвиток виробничого персоналу, розвиток нормативного та інформаційного забезпечення процесів, удосконалення організації і управління виробництвом.

Таблиця 1. Формування стратегії розвитку виробничої системи підприємства автосервісу

Напрямки розвитку	Програми, плани, заходи за напрямками розвитку виробничої системи
Технологічні процеси виробництва послуг	Програма досліджень ринку, розробки та впровадження новітніх технологій виробництва послуг. Планування заміни, оновлення, удосконалення технологічного устаткування виробничої системи підприємства
Підвищення потужності та продуктивності виробничої системи	Удосконалення планування профілактики та ремонту технологічного устаткування. Планування заходів з механізації процесів обслуговування та ремонту автомобілів. Формування програми розвитку технічного забезпечення процесів та планів впровадження новітнього технологічного устаткування
Удосконалення допоміжної інфраструктури виробничої системи	Формування програми розвитку допоміжних підрозділів виробничої системи. Планування розвитку обслуговуючих підрозділів виробничої системи підприємства. Удосконалення ліній комунікації між окремими підрозділами виробничої системи в процесі виробництва послуг автосервісу
Розвиток підсистеми кадрового забезпечення підприємства	Формування планів навчання та підвищення кваліфікації працівників. Розробка системи, забезпечення кар'єрного зростання працівників підприємства. Розробка плану розвитку методів організації праці на підприємстві. Удосконалення системи оплати праці та мотивації працівників
Розвиток системи інформаційного забезпечення	Розробка системи інформаційного забезпечення процесів виробництва послуг. Формування та створення механізму оновлення інформаційних масивів та нормативів виробництва

Програму та плани розвитку виробничої системи підприємства автосервісу, окремих технологічних процесів за номенклатурою послуг необхідно розробляти після оцінки та аналізу загального виробничого процесу підприємства і його окремих складових частин за всіма напрямками виробничого процесу.

Напрямки розвитку виробничої системи підприємства своєю метою повинні мати розвиток виробництва у довготерміновому періоді і повинні передбачати можливість постійного удосконалення, тобто відповідати принципу гнучкості процесів.

Планування розвитку та удосконалення допоміжної інфраструктури виробничої системи підприємства повинне забезпечувати тісний зв'язок допоміжних та обслуговуючих підрозділів з основним виробництвом.

Для оцінки ефективності функціонування виробничої системи підприємства автосервісу та при плануванні її розвитку, удосконалення доцільно використовувати показник ефективності використання фінансових ресурсів в процесі виробництва:

$$E = \frac{D_{op}}{B_{mt}}, \quad (1)$$

де D_{op} – доходи підприємства автосервісу від виробництва послуг;
 B_{mt} – витрати на виробництво послуг.

3. Висновки

При формуванні напрямків розвитку виробничої системи підприємства автосервісу необхідно врахувати зовнішнє та внутрішнє середовища, від стану яких залежить можливість, напрямки та масштаби розвитку виробництва послуг.

Список посилань

1. Канарчук В.С., Лудченко О.А., Барілович Л.П. и др. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах. – К.: Логос, 1996.- 348 с.
2. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Форнальчик Є.Ю., Качмар Р.Я. – Львів, Львівська політехніка, 2017. – 324 с.

Удосконалення виробничих структур підприємств автомобільного транспорту

Макарова Тамара¹, Мастепан Сергій², Кузьмін Віктор³

¹ Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна

³ Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна
makarova@vntu.edu.ua

Анотація. Представлена система аналізу складових частин виробничої структури підприємства автомобільного транспорту, визначені показники оцінки її рівня та стану, розроблена модель обґрунтування доцільності розширення виробничої структури.

Ключові слова: автомобілі, технічне обслуговування, ремонт, виробничий процес, структура.

1. Вступ

Виробничий процес технічного обслуговування (ТО) та ремонту автомобілів підприємств автомобільного транспорту повинен бути зорієнтованими на такі види діяльності: ТО, ремонт автомобілів та їх складових. Важливим питанням є забезпечення ефективності використання виробничої потужності структурних підрозділів підприємства.

Метою роботи є підвищення ефективності виробництва обслуговування та ремонту автомобілів на підприємствах транспорту шляхом удосконалення виробничої структури.

2. Результати дослідження

Організація та удосконалення виробничої структури на підприємствах автомобільного транспорту повинні розглядатись комплексно з технологіями виробництва послуг за всіма напрямками діяльності, основними серед яких є такі [1, 2]: 1) удосконалення структури процесу постачання і контролю якості та зберігання матеріальних ресурсів на підприємстві; 2) розширення номенклатури послуг з ТО та ремонту автомобілів, поглиблення спеціалізації складових частин виробничої структури та виконавців виробничого процесу; 3) удосконалення виробничої структури з метою забезпечення основних

принципів організації виробництва: безперервності, ритмічності, пропорційності, гнучкості; 4) забезпечення взаємозв'язків між окремими частинами виробничої структури з метою зменшення простоїв автомобілів і працівників при виробництві послуг; 5) удосконалення схеми загального виробничого процесу обслуговування та ремонту автомобілів, раціоналізація схем переміщення автомобілів та працівників по виробництву.

Для підприємства автомобільного транспорту при формуванні напрямків розвитку та вдосконалення виробничих структур для ТО та ремонту автомобілів необхідно спрямовувати діяльність за сукупністю напрямків

(рис. 1), а потім оцінити їх пріоритетність та планувати розвиток окремих напрямків. Для оцінки рівня організованості виробничої структури доцільно використовувати коефіцієнт організованості $k_{орг}$ за формулою:

$$k_{орг} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot s_i \quad (1)$$

де a_i – значимість i -ї складової частини виробничої структури, (визначається експертним опитуванням); s_i – відносна до нормативу (до середніх величин в галузі) величина показника оцінки окремої складової виробничої структури (рівень механізації процесів, рівень кваліфікації працівників, продуктивність праці тощо); n – кількість виробничих функцій.



Рис. 1. Формування напрямків розвитку виробничих структур підприємств

Пріоритетність напрямків розвитку виробничої системи та процесу виробництва послуг необхідно встановлювати з залученням до аналізу ведучих фахівців підприємства.

Основними завданнями підприємства по організації виробничої структури є формування взаємозв'язків між структурними підрозділами, забезпечення ефективного використання ресурсів при обслуговуванні та ремонті автомобілів, ефективності виробництва якісних послуг.

Список посилань

1. Андрусенко С.І. Загальні принципи управління підприємством // Автошляховик України, №1. – 2002. – С 18-20.
2. Канарчук В.С., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: Підручник. – К.: Вища школа, 1997. – 359 с.

Залежність зносостійкості сталі з поверхневою нанокристалічною структурою від моди інтенсивної пластичної деформації

Максимів Ольга^[0000-0002-2461-8994], Кирилів Володимир^[0000-0002-8785-5284],
Звірко Ольга^[0000-0002-6973-6804]

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна
okyryliv@yahoo.com

Анотація. Досліджено вплив моди деформації під час інтенсивної пластичної деформації високошвидкісним тертям внаслідок механоімпульсної обробки сталі 40X двома видами інструментів: з прями профілем, що забезпечує однонапрявлену деформацію, та з нарізними різнонапрямленими пазами – для різнонапрявленої деформації. Встановлено, що в результаті такої обробки на поверхні сталі 40X формується поверхневий зміцнений шар із нанокристалічною структурою та покращеними фізико-механічними властивостями, а саме підвищеною мікротвердістю, пониженим коефіцієнтом тертя та вищою зносостійкістю за умов сухого зношування в парі із чавуном СЧ-20, порівнюючи із сталлю 40X після гартування та відпуску за 200 °С. Виявлено, що внаслідок різнонапрявленої інтенсивної пластичної деформації формується нанокристалічна структура із меншим розміром зерна, більшою товщиною зміцненого шару та вищою зносостійкістю порівняно із однонапрявленою деформацією.

Ключові слова: Нанокристалічна структура, Мода деформації, Зміцнювальний інструмент, Коефіцієнт Тертя, Зносостійкість.

1. Вступ

Дослідження природи поверхні металів, а також методи їх цілеспрямованої зміни з метою формування необхідних фізико-механічних властивостей знаходяться в центрі уваги інженерів та науковців вже тривалий час [1]. Широковживаним методом поверхневого наноструктурного зміцнення сталевих виробів є інтенсивна пластична деформація, серед яких механоімпульсна обробка (МІО) високошвидкісним тертям [2]. Метою даної роботи було дослідити вплив моди інтенсивної пластичної деформації на структуру, фізико-механічні та експлуатаційні властивості поверхневої нанокристалічної структури (НКС) отриманої на сталі 40X (0,4% С, 1% Сr). Для реалізації МІО використали два види інструментів – для

однонапрявленої та різнонапрявленої деформації, яка уможлиблює формування НКС із вищою густиною дислокацій та меншим розміром зерна.

2. Методи досліджень

МіО зразків із сталі 40X реалізували на циліндричних зразках діаметром 25 мм та довжиною 100 мм двома видами інструментів – з прямим профілем та з вставними пазами для однонапрявленої та різнонапрявленої деформації, відповідно. Мікротвердість зміцненого шару дослідили на мікротвердомірі ПМТ-3 за навантаження 100 г. Рентгеноструктурний аналіз виконали на дифрактометрі ДРОН-3 в $\text{CuK}\alpha$ – випромінюванні. Зносостійкість зразків після МіО вивчили за сухого тертя за схемою кільце-вкладка на машині тертя СМЦ за питомого навантаження 1 МПа, швидкості ковзання 1 м/с в парі із чавуном СЧ-20 (3,4% С, 1,9% Si, 0,85% Mn). Для порівняння дослідили зносостійкість в аналогічній парі тертя термообробленої сталі 40X після гартування та відпуску 200 °С (HRC 52–54).

3. Результати досліджень

В результаті МіО отримано мартенситну структуру після обробки прямим інструментом та мартенситно–аустенітну структуру після обробки інструментом з нахиленими різнонапрявленими пазами. Встановлена рентгеноструктурним аналізом величина зерна α -фази на поверхні становить у першому випадку 10,7 нм та 8,7 нм – у другому, що вказує на інтенсивніше подрібнення зерна різнонапрявленою деформацією. Мікротвердість зміцненого шару на обох зразках відрізняється незначно (рис. 1) і становить ~ 9,4 ГПа, однак глибина зміцнення за МіО однонапрявленою деформацією становить 200 мкм (*крива 1*) та 300 мкм (*крива 2*) – за різнонапрявленою деформацією.

Зносостійкість зразків з поверхневою НКС є вищою, ніж у термообробленого зразка після МіО двома видами інструментів (рис. 2). Підвищення мікротвердості, а отже і зносостійкості досліджуваних зразків, пояснюємо сформованою НКС в поверхневому шарі та зниженням його коефіцієнту тертя (рис. 2). Найвищу зносостійкість, яка в 2,5 рази перевищує зносостійкість пари тертя після термообробки, досягнуто на зразках із поверхневою НКС після МіО різнонапрявленою деформацією.

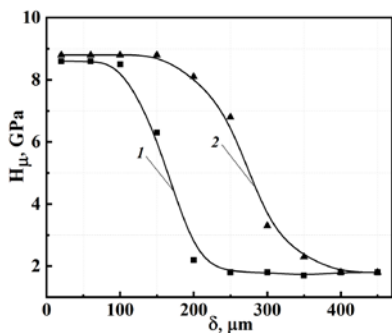


Рис. 1. Мікротвердість поверхневого шару сталі 40X після МІО різними модами деформації:
1 – однонапрявленою;
2 – різнонапрявленою.

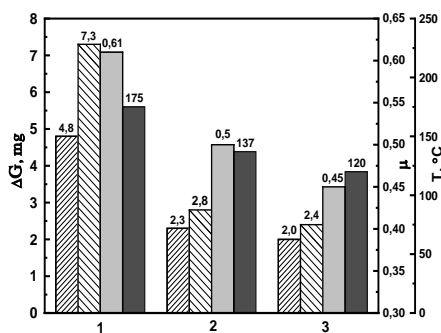


Рис. 2. Параметри зносостійкості пар тертя сталі 40X-СЧ 20 після гартування та відпуску 200°C (1) та після МІО однонапрявленою (2) та різнонапрявленою (3) деформацією: ▨ – втрата маси кілець; ▩ – втрата маси вкладок; □ – коефіцієнт тертя; ■ – температура в зоні тертя.

4. Висновки

МІО обома видами зміцнювальних інструментів забезпечує вищу зносостійкість зразків із сталі 40X у порівнянні із гартуванням та відпуском при температурі 200°C щонайменше у 2,5 рази. МІО різнонапрявленою деформацією формує поверхневу НКС з меншим розміром зерна, вищою мікротвердістю та глибиною зміцненого поверхневого шару більшою на 100 мкм порівняно із однонапрявленою, що вказує на її вищу ефективність.

Список посилань

1. Olugbade T.O., Lu J. Literature review on the mechanical properties of materials after surface mechanical attrition treatment (SMAT), Nano Materials Science. 2 (2020) 3-31.
2. Nykyforchyn H., Kyryliv V., Maksymiv O., Zvirko O. Mechanical fabrication methods of nanostructured surfaces, in: M. Aliofkhaezai, N. Ali, M. Chiparaetal (Eds.), Handbook of modern coating technologies. Fabrication methods and functional properties, Elsevier, Amsterdam, 2021. pp. 25-67.

Підвищення ефективності обробки ливарних виробів у дробометному барабані

Мартинюк Віктор ¹[0000-0002-6914-2336], Пуць Віталій ¹[0000-0003-3164-6173],
Панчук Максим ², Мельник Євгеній ¹

¹ Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

² ПрАТ «Нововолинський Ливарний Завод»,
вул. Луцька, 29, Нововолинськ, 45403, Україна
martyniukviktor77@gmail.com

Анотація. Ливарне виробництво є важливою складовою галузі машинобудування, оскільки значна частка деталей машин та обладнання різного призначення виготовляється за допомогою лиття. Однією з важливих технологічних операцій з обробки деталей в процесі ливарного виробництва полягає в очищенні поверхонь від залишкового піску, шлаку, та інших домішок за допомогою дробометних машин (барабанів). Дробометні очисні барабани дозволяють досягти високого ступеня чистоти деталей, що може бути особливо важливим для виробництва деталей з високою точністю та якістю. Однак, існуючі дробометні машини мають певні недоліки, такі як недостатня продуктивність, низька якість обробки, високі виробничі витрати тощо. Для покращення ефективності обробки ливарних виробів та роботи дробометного обладнання запропоновано встановити магнітний сепаратор дробів, додаткову дробометну головку з прямим приводом, пристрою для магнітного регулювання подачі дробів, заміну витяжних пристроїв на автоматичні пилозбірники з картриджним (рукаваним) фільтром, заміну шнекового конвеєра на вібросито, заміну матеріалу для обшивки внутрішньої камери, застосування автоматизованої системи управління технологічним процесом обробки. Результати дослідження мають значення для виробників литва, які зможуть використовувати удосконалену конструкцію дробометного барабана, сприятимуть зниженню витрат, підвищенню продуктивності та якості продукції ливарного виробництва.

Ключові слова: лиття, очищення, дробометний барабан, магнітний сепаратор, вібросито, якість, продуктивність, ефективність.

Технічний рівень будь-якої промислово-розвиненої країни оцінюють передусім виробництвом металургійної продукції: чавуну, сталі, прокату і литих заготовок. Обсяг виробництва та якість металургійної продукції визначають розвиток промисловості, її основних галузей: машинобудування, енергетики, верстатобудування автомобілебудування тощо. Разом з цим, розвиток і вдосконалення машинобудівної промисловості незмінно

супроводжується прогресивним зменшенням трудомісткості виготовлених виробів [1].

Ливарне виробництво є важливою складовою машинобудівної галузі, оскільки значна частка деталей машин та обладнання різного призначення виготовляється за допомогою литтєвих операцій. В процесі лиття створюються деталі різної форми та призначення, від простих втулок до складних деталей, які повинні витримувати високі механічні та термічні навантаження. Щороку виробництво деталей перевищує 100 мільйонів тонн. Для лиття використовуються різні технології, такі як лиття в разові піщані форми, лиття за витоплюваними моделями, лиття за газифікованими моделями та інші, а також різні сплави, залежно від призначення виливка. Чавуни та сталі є найбільш поширеними матеріалами для лиття.

Однією з важливих технологічних операцій з обробки деталей в процесі ливарного виробництва полягає в очищенні поверхонь від залишкового піску, шлаку, та інших домішок за допомогою дробометних машин (барабанів). Однією з переваг дробометних машин є їх висока ефективність в очищенні великої кількості деталей за короткий час. Крім того, їх застосування дозволяє досягти високого ступеня чистоти поверхонь, що може бути особливо важливим для виробництва деталей з високою точністю та якістю. Дробомети також можуть бути налаштовані для обробки деталей різної форми та розміру, що дозволяє забезпечити оптимальну обробку для кожної конкретної деталі. Дробометні очисні машини складаються з однотипних елементів, до основних з яких відносяться дробикідні апарати, система циркуляції дробів (шнековий конвеєр, ковшовий елеватор і ін.), система сепарації дробів (барабанне сито, повітряний сепаратор), а також елементи огороження й пиловідведення, а також містять різні системи подачі виливків під струмін дробів [2]. Однак, існуючі дробометні очисні машини мають певні недоліки, такі як недостатня продуктивність, низька якість обробки, висока вартість тощо. Тому удосконалення таких машин може допомогти вирішити ці проблеми та покращити ефективність обробки литва.

Для підвищення ефективності обробки ливарних виробів та роботи дробометного обладнання пропонується удосконалення конструкції та технологічного процесу обробки здійснювати у таких напрямках: збільшення ефективності обробки; підвищення продуктивності; зменшення енерговитрат; покращення екологічності та показників надійності.

Модернізація конструкцій дробометів пропонується за рахунок таких конструкційних удосконалень.

Встановлення в існуючих конструкціях магнітного сепаратора. Це дозволить відділяти дробу і металеві включення різних фракцій від немагнітного піску. В подальшому дробу вловлюються магнітним барабаном, продуваються струменем повітря і направляються на повторне використання.

Для інтенсифікації обробки встановлення додаткової дробометної головки з прямим приводом, що дозволить виключити додаткові передавальні пристрої, і таким чином забезпечить зменшення енерговитрат та збільшення продуктивності.

Оснащення дробомета пристроєм для ручного або автоматичного магнітного регулювання подачі дробів (клапан дозування) на колесо турбіни, робота якого синхронізована з часом обробки. Це дасть змогу раціонально обробляти різні за розмірами і конфігурацією виливки.

Заміну витяжних пристроїв циклонного типу на автоматичні пілозбірники з картриджем (рукаваним) фільтром, які не пропускають пилю. Це покращить ергономічні та екологічні характеристики обладнання.

Заміну шнекового конвеєра на вібросито, яке монтується на двох вібровузлах і оснащено гумовими вібраційними демпферами. Це дозволить, окрім транспортування, здійснювати відділення крупних та дрібних частинок, підвищити продуктивність та надійність машини.

Для обшивки внутрішньої поверхні камери пропонується використовувати деталі, виготовлені з високоякісної сталі з підвищеним вмістом марганцю. Технологічний процес обробки ливарних виробів дробометним обладнанням з використанням такої обшивки дозволить підвищити довговічність та надійність машини та знизити витрати на технічне обслуговування.

Крім того, пропонується застосування автоматизованої системи управління технологічним процесом обробки.

Результати дослідження мають значення для виробників литва, які зможуть використовувати удосконалену конструкцію очисного дробометного обладнання, сприятимуть зниженню витрат, покращенню якості та підвищенню продуктивності процесів ливарного виробництва.

Список посилань

1. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г.С. Федоров, М.М. Ямшинський, В.Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
2. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
3. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К. : Віпол, 1993. – 552 с.

Використання сегрегованих полімерних композитів у зварюванні пластмас

Маруженко Олексій^{1[0000-0002-3561-5916]}, Мамуна Євген^{2[1111-2222-3333-4444]},
Юрженко Максим^{1[0000-0002-5535-731X]}

¹ Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України
Вул. Казимира Малевича, 11, Київ, 03150, Україна

² Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,
Харківське шосе, 48, Київ, 02160, Україна
a.v.maruzhenko@gmail.com

Анотація. Одним із можливих застосувань пірорезистивних композитів є резистивне зварювання пластмас з використанням закладного нагрівального елемента (НЕ), виготовленого з пірорезистивного матеріалу тієї ж природи, що й деталі, які зварюються, наприклад поліетилену (HDPE). Досліджено електротермічні процеси в пірорезистивних композитах на основі HDPE, які містили різні вуглецеві наповнювачі, а саме сажу (СВ), вуглецеві волокна (CF) та їх суміш СВ/CF, і в яких було сформовано сегреговану структуру провідної фази. Продемонстровано практичне використання розроблених композитів для зварювання деталей з поліетилену, показане зварне з'єднання встик за допомогою НЕ.

Ключові слова: полімерні композити, пірорезистивні властивості.

1. Вступ

Полімерні композити з пірорезистивними властивостями можуть бути використані в різних галузях техніки; їх можливі сфери використання досить повно висвітлено в огляді [1]. Проте варто згадати ще одну перспективну сферу застосування пірорезистивних полімерних композитів – зварювання пластикових деталей закладним нагрівальним елементом (НЕ) [2]. Цей вид зварювання використовується для з'єднання деталей складної геометрії або полімерів з високою температурою плавлення. У цьому випадку зазвичай використовується нагрівальний елемент у вигляді металеві сітки. Коли струм протікає через НЕ, останній нагрівається джоулевім теплом, і поверхневий шар полімерних деталей, які потім з'єднуються, плавиться. Оскільки сітка залишається в зварному з'єднанні, це погіршує механічні властивості кінцевого продукту, тому застосування нагрівальних елементів з пірорезистивних композитів з тією ж полімерною матрицею, що й у з'єднуваних деталях, дозволяє забезпечити рівномірність зварного з'єднання та його міцність [3, 4].

2. Формування зразків

Для отримання сегрегованої структури, зразки формували методом гарячого компактування при температурі 140°C і тиску 20 МПа. Як основу нагрівального елемента був взятий поліетилен високої густини (HDPE) у вигляді порошку з розміром частинок ~200 мкм. Як провідний наповнювач використовували різні вуглецеві матеріали, а саме сажа (8об.% СВ), різані вуглецеві волокна (8об.% CF) та їх суміш (4об.% СВ+4об.% CF). Спочатку, наповнювач розподіляли по поверхні полімерних частинок шляхом ретельного перемішування до отримання шару наповнювача, який покриває поверхню полімерних зерен. Це можливо у випадку, коли розмір частинок полімеру D і наповнювача d істотно відрізняються ($D \gg d$). Під час гарячого компактування (пресування) ця структура зберігалася, полімерні частинки деформувалися та з'єднувалися в суцільну полімерну матрицю, а частинки наповнювача розташовувалися на границях між полімерними зернами, утворюючи безперервний тривимірний провідний каркас усередині полімерної матриці. Таким чином формувалася так звана сегрегована структура провідної фази в композиті, яка характеризується високою електропровідністю при невеликому вмісті наповнювача за рахунок високої локальної концентрації наповнювача в провідному каркасі.

Для електротермічних досліджень із дисків діаметром 30 мм і товщиною 1,5 мм вирізали зразки-пластини НЕ шириною 15 мм. До протилежних граней отриманих зразків підключали клєми, через які на зразок подавали напругу. Температуру НЕ реєстрували термопарою та інфрачервоним тепловізором. При зварюванні НЕ закладався між зварюваними деталями і прижимався.

3. Результати дослідження

Дослідження електротермічних характеристик пірорезистивних композитів показало слабший вплив ПТКО-ефекту в композиті HDPE-СВ порівняно з композитами, наповненими вуглецевим волокном (CF) та сумішшю СВ/CF, що дає можливість досягти вищих температур. Тому в якості електропровідного наповнювача для формування нагрівального елемента була обрана сажа (СВ), оскільки, крім того, вона є доступним, дешевим і широко використовуваним електропровідним наповнювачем. На рис. 1А показано зображення нагрівального елемента в нагрітому стані, зробленого з композиту HDPE-СВ, отримане за допомогою інфрачервоного тепловізора.

На рис. 1Б показано стиковий зварний шов HDPE, сформований за допомогою сегрегованого нагрівального елемента. Наявність ґрату в зоні зварювання свідчить про те, що НЕ забезпечує необхідний нагрів і розплавлення поверхні деталей, що зварюються.

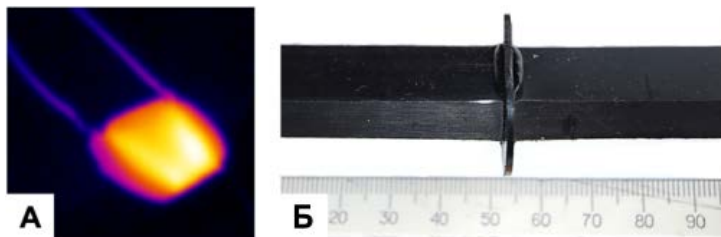


Рис. 1. А – зображення нагрітого НЕ у інфрачервоному спектрі;
Б – зварне з'єднання деталей HDPE з нагрівальним елементом.

Детальне дослідження зварних з'єднань поліетиленових деталей, отриманих з використанням пірорезних нагрівальних елементів на основі поліетилену, показало, що механічна міцність зварного з'єднання залежить від режиму зварювання [3]. Оптимальний режим, що визначається потужністю, яка підводиться до НЕ і часом зварювання, забезпечує міцність зварного з'єднання на рівні міцності деталей, що зварюються.

Таким чином, зварювання з використанням нагрівального елемента, виготовленого з пірорезистивного матеріалу тієї ж природи, що і деталі, що зварюються, забезпечує високу якість зварювання і є перспективним методом для використання в різних галузях промисловості.

Список посилань

1. Liu, Y., Zhang, H., Porwal, H., Busfield, J.J., Peijs, T., Bilotti, E.: Pyroresistivity in conductive polymer composites: a perspective on recent advances and new applications. *Polymer International* 68(3), 299-305 (2019).
2. Stavrov, D., Bersee, H.E.N.: Resistance welding of thermoplastic composites-an overview. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 36(1), 39-54 (2005).
3. Kolisnyk, R., Korab, M., Iurzhenko, M., Masiuchok, O., Mamunya, Ye.: Development of heating elements based on conductive polymer composites for electrofusion welding of plastics. *Journal of Applied Polymer Science* 138(20), e50418 (2020).
4. Brassard, D., Dubé, M., Tavares, J.R.: Resistance welding of thermoplastic composites with a nanocomposite heating element. *Composites Part B* 165, 779-784 (2019).

Алгоритм оцінювання якості 3D моделі для адитивного виробництва

Марчук Віктор^[0000-0003-4830-6909], Тулашвілі Юрій^[0000-0002-0780-9529],
Лук'яничук Юрій^[0000-0001-9690-6197], Суринович Олена^[0000-0002-9300-0039]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
iurii.lukianchuk87@gmail.com

Анотація. Описано, яких помилок часто припускається інженер-конструктор під час моделювання 3D-об'єкту та як вони впливають на характеристики якості виробу, що виготовляється методом FDM в процесі адитивного виробництва. Та запропоновано алгоритм аналізу деталі на технологічність ще до початку її виготовлення.

Ключові слова: 3D-моделювання, адитивне виробництво, дефекти поверхні виробу.

1. Вступ. Постановка проблеми

Адитивне виробництво або 3D-друк – процес створення тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі їх цифрових 3D моделей.

Найбільш популярною технологією адитивного виробництва є FDM – екструзійний 3D-друк, моделювання методом пошарового наплавлення термопластичних полімерів.

На якість технології адитивного виробництва FDM значний вплив має відтворення майбутнього виробу в 3D-моделі. Якщо проектувальник 3D-моделі припускається помилок пов'язаних з недотриманням технологічних особливостей FDM під час 3D-друку будуть виникати дефекти, що пов'язані із особливостями цієї технології адитивного виробництва. Тому для отримання якісної 3D-моделі проектувальник повинен чітко розуміти усі особливості технології адитивного виробництва FDM.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розвиток технологій 3D-друку знайшов широке відображення у літературних джерелах, що розкривають закордонний досвід [1, 2, 3]. Так, Сабрі Соломан показує, як змінюється промисловість під впливом розповсюдження технологій 3D-друку [4]. В дослідженнях Хардіка Пандї описано основи роботи з адитивними технологіями, який зібраний у навчальний матеріал для підготовки фахівців 3D друку [5].

В Україні досвід підготовки фахівців з 3D-друку є мінімальний. Під час опанування технології 3D-друку, як правило, використовується переклади світового досвіду та власні напрацювання [6, 7, 8].

Метою досліджень є побудова алгоритму оцінювання якості 3D моделі під час її побудови на основі класифікації типових помилок, що призвели до дефектів виробів з технології адитивного виробництва FDM.

3. Виклад основного матеріалу

Технологія пошарового наплавлення має певні обмеження за складністю створюваних геометричних форм. Існує кілька поширених помилок, які можуть виникнути під час моделювання об'єкта для 3D-друку:

1. Non-manifold geometry (неоднорідна геометрія) [9]; 2. Wall thickness errors (помилки товщини стінки); 3. Overhangs and unsupported geometry (виступи та невідтримувана геометрія) [10]; 4. Incorrect scale (неправильний масштаб); 5. Non-printable geometry (геометрія, яка не друкується); 6. Badly designed joints or connections (не технологічно сконструйовані з'єднання).

Проаналізувавши подані вище типові помилки, що виникають під час 3D-моделювання об'єкта, пропонуємо послідовність перевірки 3D-моделі на можливість виникнення типових помилок та потрібні рішення для їх усунення (таблиця 1).

Таблиця 1. Послідовність перевірки під час 3D-моделювання та потрібні рішення для усунення типових помилок

Етап	Помилка	Основна вада (опис)	Потрібне рішення
1	Non-printable geometry	Об'єкти, які не можна надрукувати, наприклад внутрішні порожнечі або западини	Видалити недруковану геометрію або доопрацювати дизайн, щоб зробити його придатним для 3D-друку
2	Wall thickness errors	Занадто тонкі або товсті стінки спричиняють надмірне або недостатнє видавлювання матеріалу, що має вплив на міцність виробу	Відредагувати товщини стінок відповідно до параметрів сопла 3D-принтера та використовуюваного матеріалу
3	Incorrect scale	Модель неправильно масштабовано для 3D-друку, що призводить до надто великих або замалих елементів моделі	Підберіть масштаб моделі відповідно до технологічних розмірів виробу та параметрів 3D-принтера
4	Overhangs and unsupported geometry	Виступи або невідтримувані ділянки 3D-моделі, що призводять до провисання матеріалу	Доопрацювати 3D-модель щодо необхідної геометрії додаткових опорних конструкцій або визначити положення технологічних підтримок 3D-принтера

Етап	Помилка	Основна вада (опис)	Потрібне рішення
5	Badly designed joints or connections	Конструкційні з'єднання 3D-моделі, які не відповідають технологічним вимогам (фаски, округлення, ребра жорсткості), призводять до того, що елементи деталі втрачають спряженість поверхонь	Доопрацювати елементи конструкції з'єднань 3D-моделі відповідно до технологічних вимог
6	Non-manifold geometry	Поверхні, які перетинаються або неоднорідними, спричиняють помилки під час створення траєкторії руху друкуючої головки, що призводить до утворення дефектів порожнин в середині виробу	Корегування моделі за допомогою програмного забезпечення, яке може ідентифікувати та виправляти неоднорідну геометрію, наприклад Meshmixer або Netfabb

4. Висновки та перспективи подальших досліджень

Щоб уникнути цих помилок, важливо переконатися, що модель належним чином змодельована та оптимізована для друку. Тестування моделі у віртуальному середовищі або за допомогою тестового зразка також може допомогти виявити та виправити будь-які потенційні помилки перед тим, як приступити до повномасштабного друку.

Список посилань

1. Larson, H.: *Fabricated: The New World of 3D-Printing*. Wiley. 2013. 280 p.
2. Javaida, M., Haleema, A., Pratap Singh, R., Sumanc, R., Rab, S.: Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. In: *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4 (4), pp. 312-322.
3. Kirchheim, A., Dennig, H., Zumofen, L.: Why Education and Training in the Field of Additive Manufacturing is a Necessity. In: *International Conference on Additive Manufacturing in Products and Applications*, 2018. pp. 329-336.
4. Sabrie, S.: Additive manufacturing technology – 3D printing and design – the 4th industrial revolution. 2020. 417p.
5. Pandya, H. 3D printing technology: fundamentals and application. 2021. 416 p.
6. Smyth, Clifford T.: *Designing 3d printed things for everyday use - 3rd edition* Paperback. In: *Functional Design for 3D Printing*. June 26, 2017. 236p.
7. Torta, S., Torta, J.: *3D Printing: An Introduction Illustrated Edition*. 2018. 370p.
8. Marchuk V.I., Lukianchuk Yu.A., Tulashvili Yu.I. *Praktychnyi dosvid vykorystannia tekhnolohii 3D-druku. Perspektyvni tekhnolohii ta pryklady*. Lutsk, 2022. Vypusk №20. S.69 - 77. (in Ukrainian).
9. <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/fix-non-manifold-geometry/>
10. https://www.researchgate.net/figure/Both-actual-part-height-H-and-overhang-angle-will-deviate-from-the-required_fig1_338051158.

Удосконалення системи організації виробництва послуг на підприємствах автосервісу

Мастепан Микола, Виноградов Микола, Кузьміна Вікторія

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
mastepanma@gmail.com

Анотація. Розроблено та представлено механізм контролю системи організації виробничого процесу підприємства. Показано, що в якості показника контролю доцільно використовувати загальний рівень організації виробничого процесу обслуговування та ремонту автомобілів. Розроблено математичну модель визначення зазначеного показника.

Ключові слова: виробничий процес, організація, автомобіль, обслуговування, ремонт.

1. Вступ

Підвищення ефективності виробництва послуг з технічного обслуговування (ТО) та ремонту автомобілів можна досягти за рахунок підвищення продуктивності праці, економії часу на отримання матеріалів, інструменту, економного використання робочого часу та матеріальних і енергетичних ресурсів [1, 2].

Метою роботи є забезпечення ефективності виробництва послуг з обслуговування та ремонту автомобілів на підприємствах автосервісу підвищенням рівня організації виробничих процесів.

2. Результати дослідження

При організації виробничого процесу підприємства важливо мати механізм контролю якості його організації. Таким показником може бути загальний рівень організації виробничого процесу обслуговування та ремонту автомобілів, який визначається статистичним методом дослідження за результатами аналізу нормативної та фактичної трудомісткості робіт.

Базова операційна тривалість ТО та ремонту одного автомобіля на підприємстві складе:

$$t_{ora}^b = \sum_{i=1}^n (T_i^b / P_i), \quad (1)$$

де n – число операцій ТО та ремонту по автомобілю, які необхідно виконати

при одному заїзді на підприємство; T_i^b – нормативна трудомісткість i -ї операції ТО або ремонту автомобіля; P_i – кількість робітників задіяних для виконання i -ї операції.

Фактичну тривалість ТО та ремонту одного автомобіля на робочих постах підприємства t_{ora}^ϕ можна визначити за формулою:

$$t_{ora}^\phi = \sum_{i=1}^n (T_i^b / P_i + t_{ni}), \quad (2)$$

де t_{ni} – втрати робочого часу при виконанні i - ї операції ТО або ремонту автомобіля.

Загальний рівень організації виробничого процесу обслуговування та ремонту автомобілів на підприємстві можна визначити коефіцієнтом K_e – відношенням планової (базової – середньої по галузі) тривалості процесу обслуговування або ремонту до фактичної, за формулою:

$$K_e = t_{ora}^b / t_{ora}^\phi. \quad (3)$$

Для підприємства бажаним буде такий стан організації виробничого процесу, коли $K_e > 1$. Удосконалення організації процесу виробництва послуги автосервісу виконавцями повинно складатися з послідовності дій, прийомів, поєднаних за етапами (рис. 1):



Рис. 1. Схема планування заходів по удосконаленню організації виробництва послуг

Основною задачею удосконалення виробничих процесів підприємств автосервісу є підвищення якості виробництва послуг і мінімізація втрат робочого часу.

3. Висновки

Проведено аналіз застосування методів оцінки рівня організації виробничого процесу та розроблено математичну модель оцінки загального рівня організації виробничого процесу технічного обслуговування та ремонту автомобілів на підприємствах автосервісу.

Список посилань

1. Клімов С.В. Організація технічного сервісу машин: навчальний посібник – Рівне: НУВГП. – 210 с.
2. Канарчук В.С., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: Підручник. – К.: Вища школа, 1997. – 359 с.

Сучасні транспортні технології у мультимодальних перевезеннях

Микола Маяк^{1[0000-0002-1006-9218]}, Ігор Мурований

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
Igor_lntu@ukr.net

Анотація. У сучасному світі, коли ми живемо в еру високих технологій, транспортна інфраструктура стає все більш складною і розгалуженою. Це приводить до необхідності розвитку мультимодальних перевезень - систем, що поєднують різні види транспорту для забезпечення ефективного та швидкого перевезення вантажів та пасажирів. У цьому контексті, сучасні транспортні технології грають ключову роль в покращенні якості та ефективності мультимодальних перевезень. Одна з найбільш важливих технологій, що дозволяє покращити мультимодальні перевезення - це розумна логістика.

Ключові слова: Мультимодальні, перевезення, транспорт, система логістика.

1. Вступ

Мультимодальні перевезення, які поєднують різні види транспорту для надання комплексних послуг з мінімальними витратами, зародилися в Європі понад століття тому. Оскільки вони з'явилися пізніше, ніж мономодальні перевезення, єдиної номенклатури для них не існує. Дехто називає його комбінованим, мультимодальним, інтегрованим, змішаним або послідовним транспортом [1][2]. Незважаючи на варіації в номенклатурі, відповідні міжнародні конвенції послідовно визначають його зміст. Найперша форма мультимодальних перевезень, що поєднувала залізничні та автомобільні перевезення, а також автомобільні перевезення в поєднанні із залізничними, відома як контрейлерні перевезення [3], [4]. Сьогодні широко визнано, що мультимодальні перевезення є важливим засобом надання ефективних транспортних послуг. Цей підхід, також відомий як "універсальний" транспорт, намагається поєднати різні види транспорту, використовуючи їхню власну внутрішню економіку [1], [2]. Основними ознаками мультимодального перевезення є:

- наявність оператора доставки вантажу від початкового до кінцевого пункту логістичного ланцюга;
- єдина наскрізна система тарифів;

- єдиний транспортний документ;
- єдина відповідальність за вантаж та виконання договорів перевезення.

2. Основна частина

У зв'язку зі стрімким розширенням світової торгівлі все більшого значення набуває розвиток ефективних перевезень на далекі відстані. Однак для задоволення цього попиту вже недостатньо одного виду транспорту. Мультиmodalні перевезення – це поєднання під час транспортування двох або більше транспортних засобів для переміщення пасажирів або товарів з одного джерела до пункту призначення [5]. Приклад варіантів для організації перевезень представлений на рис. 1

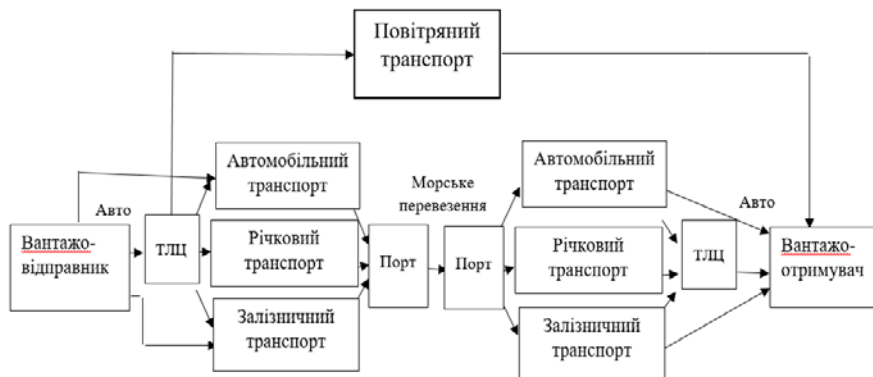


Рис. 1. Схема варіантів організації мультиmodalних перевезень

У мультиmodalних перевезеннях застосовується такий термін, як: «транспортний коридор» – це частина національної або міжнародної транспортної системи, яка забезпечує значні вантажні та пасажирські перевезення між окремими географічними районами, включає рухомий склад і стаціонарні пристрої всіх видів транспорту, що працюють на цьому напрямі, а також сукупність технологічних, організаційних та правових умов здійснення перевезень. Таким чином можна стверджувати, що: «Для розвитку транспортних коридорів необхідно організувати використання існуючих транспортних мереж з урахуванням їхньої технічної модернізації застосування сучасних транспортних засобів з високим рівнем їхньої якості та забезпечення безпеки». Одна з найбільш важливих технологій, що дозволяє покращити мультиmodalні перевезення – це розумна логістика. Розумна логістика передбачає використання різноманітних технологій для автоматизації транспортних процесів. Наприклад, системи GPS дозволяють контролювати маршрути та знаходити найбільш оптимальні шляхи для

доставки вантажів. Системи моніторингу руху транспорту дозволяють в режимі реального часу відстежувати місцезнаходження транспортних засобів, що дозволяє уникнути затримок і збільшити точність прогнозування часу доставки. Представити характеристики генерації логістики можна узагальнено в наступних аспектах:

✓ Систематизація.

Сучасна логістика є не простою суперпозицією транспортної, складської та інших видів діяльності, а системою, загальна мета якої об'єднати ці різні види діяльності, що становлять функції системи. Між цими елементами існує взаємозв'язок. Сучасна логістика має бути клієнтоорієнтованою, концепція «повного сервісу», це вже не якість обслуговування та ефективність окремої ланки, а якість та ефективність усієї логістичної системи, крім досягнення ефективності природного товарообігу [6].

✓ Логістична інформація.

Це найважливіша риса, яка відрізняє її від традиційної логістики. Інформація є реальною, тепер систематизація та інтеграція логістики відіграють важливу роль. Сучасні інформаційні технології, технології зв'язку широко використовуються при обробці та передачі логістичної інформації, так що передача різної логістичної інформації між відділами логістики та іншими відповідними відділами, а також між різними підприємствами та обробкою можуть долати обмеження простору та часу та підтримувати високий рівень єдності фізичної логістики та потоку інформації та обробки інформації у режимі реального часу [7].

✓ Модернізація логістики.

Стрімкий розвиток сучасних технологій є носієм реалізації сучасної логістики. У сучасній логістичній діяльності використовуються сучасні транспортні засоби, вантажно-розвантажувальне обладнання, складські приміщення та технологія упаковки. Застосування цих технологій може сприяти координації всіх аспектів логістики та підвищити загальну ефективність обслуговування.

Ще однією важливою технологією є безпілотні автомобілі, що вже успішно випробовуються в різних країнах світу. Такі автомобілі забезпечують безпеку на дорогах та покращують рух транспорту. Завдяки безпілотним автомобілям, зменшується кількість аварій, пов'язаних з людським фактором. Крім того, це дозволяє збільшити ефективність перевезень та зменшити витрати на оплату водіїв. Інша технологія, що забезпечує покращення мультимодальних перевезень - це електричні транспортні засоби. Електричні автомобілі, автобуси та поїзди забезпечують більш екологічне перевезення та зменшують витрати на паливо. Розвиток інфраструктури для електромобілів та електричних заправок є важливим фактором для забезпечення швидкого та ефективного переходу до електромобільного транспорту.

3. Висновки

Таким чином, ефективна побудова та управління мультимодальними перевезеннями має як теоретичне, так і практичне значення. Сучасні транспортні технології мають великий потенціал для покращення мультимодальних перевезень. Забезпечення безпеки та надійності технологій, а також розвиток в контексті сталого розвитку дозволять забезпечити більш ефективні та екологічно чисті мультимодальні перевезення у майбутньому.

Список посилань

1. E. Demir, T. Bektaş, and G. Laporte, "A review of recent research on green road freight transportation," *European Journal of Operational Research*, vol. 237, no. 3. Elsevier, pp. 775–793, Sep. 16, 2014, doi: 10.1016/j.ejor.2013.12.033.
2. J. Kubanova and C. Schmidt, "Multiimodal and iintermodal transportatiion systems," *Commun. - Sci. Lett. Univ. Zilina*, vol. 18, no. 2, pp. 104–108, 2016.
3. J. Udomwannakhet, P. Vajarodaya, S. Manicho, K. Kaewfak, J. B. Ruiz, and V. Ammarapala, "A review of multimodal transportation optimization model," *Proc. 2018 5th Int. Conf. Bus. Ind. Res. Smart Technol. Next Gener. Information, Eng. Bus. Soc. Sci. ICBIR 2018*, pp. 333–338, 2018, doi: 10.1109/ICBIR.2018.8391217.
4. J. Jiang, D. Zhang, S. Li, and Y. Liu, "Multimodal Green Logistics Network Design of Urban Agglomeration with Stochastic Demand," *J. Adv. Transp.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/4165942.
5. Galvez-Fernandez C. et al. Distributed approach for solving time-dependent problems in multimodal transport networks // *Advances in Operations Research*. – 2009. – Т. 2009.
6. F. Russo and A. Comi, "A classification of city logistics measures and connected impacts," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 6355–6365, 2010, doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.044.
7. D. Daniluk, M. Wolf, O. Wolf, and M. Ten Hompel, *Logistics mall-a cloud platform for logistics*. 2015.

Метод оптимізації мікроструктури пінистих матеріалів на основі аналітично-числового моделювання

Мікуліч Олена ^[0000-0003-4522-596X], Самчук Людмила ^[0000-0001-6700-2164]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
shyprao@gmail.com, samchuk204@gmail.com

Анотація. Дослідження спрямоване на розробку методів моделювання напружено-деформованого стану елементів конструкцій, виготовлених зі структурно-неоднорідних матеріалів, та оцінку впливу зміни фізичних характеристик на їх механічну поведінку за різних типів зовнішнього навантаження. Дослідження були проведені у випадку пінистих полімерних матеріалів із закритими порами. Розробка відповідних методик розрахунку напружень та деформацій у спінених матеріалах проводилася за використання апарату мікрополярної теорії пружності – континууму Коссера. Використання такого підходу дозволило врахувати вплив зсувно-обертальних деформацій. Крім того, використання моделі континууму Коссера дало можливість отримати аналітичні залежності у інтегральній формі для визначення напружень та деформацій у пінистому середовищі за дії змінного у часі навантаження на основі застосування інтегрального перетворення Фур'є за часом сумісно з непрямым підходом методу граничних елементів. Такий метод дозволяє не тільки порівняти результати, отримані при застосуванні апарату класичної та моментної теорії пружності, а і дає можливість контролювати похибку розрахунків, що є істотним при дослідженні швидкозмінного напруженого стану, який виникає за дії змінного у часі навантаження. Також такий підхід дозволив досліджувати перехідні процеси та вивчати вплив мікроструктури матеріалу на зміну механічної поведінки за різних типів навантажень.

Ключові слова: нестационарне навантаження, Континуум Коссера, полімерні піни.

1. Вступ

У сучасному виробництві зростає використання полімерних піні та піноматеріалів для вирішення різних інженерних задач. Проте, ці матеріали, що мають низьку густину та хороші вібропоглинальні та теплозберігаючі характеристики, можуть мати набагато ширші сфери застосування. Для цього необхідно розробити підходи до аналізу та дослідження механічної поведінки пінистих матеріалів за різних видів навантажень. Такий підхід дозволить оптимізувати механічні характеристики пінистих матеріалів та забезпечити

максимальну ефективність використання таких матеріалів.

Для аналізу напружено-деформованого стану пінистих матеріалів у літературі широко використовуються уточнені моделі механіки суцільного середовища, що дають можливість враховувати вплив неоднорідності мікроструктури матеріалу. Зокрема, широкої популярності набула моментна теорія пружності – континуум Коссера, в рамках якої можна враховувати вплив оберально-зсувних деформацій мікрочастинок середовища.

Використання таких моделей дає можливість врахувати вплив структурної неоднорідності пінистих матеріалів на їх механічну поведінку за дії різних типів зовнішніх впливів. Також застосування таких підходів дає можливість для деяких класів задач отримати аналітичні чи аналітично-числові розв'язки, що в свою чергу дозволяє вивчити вплив мікроструктури матеріалу на основі аналізу оберально-зсувних деформацій на розподіл напружень та деформацій у мікрополярному середовищі.

2. Методика дослідження

У рамках моментного континууму Коссера рівняння руху класичної теорії пружності [1] доповнюються додатковими рівняннями, що враховують вплив оберальних деформацій та моментних напружень [2, 3]:

$$\sigma_{ji,j} + X_i = \rho \ddot{u}_i, \quad (1)$$

$$\epsilon_{kji} \sigma_{ij} + \mu_{jk,j} + Y_k = J \ddot{\phi}_k, \quad (2)$$

де σ_{ji} – силові напруження, μ_{ji} – моментні напруження, ρ – густина матеріалу, $\mathbf{X}=\{X_i\}$ – вектор масових сил, $\mathbf{Y}=\{Y_i\}$ – вектор моментних зусиль, J – інерція обертання мікрочастинки середовища, ϵ_{klm} – символ Леві-Чевіта, $\mathbf{u}=\{u_i\}$ – вектор переміщень точок середовища, $\boldsymbol{\phi}=\{\phi_k\}$ – вектор мікроповоротів. Вектор-функції \mathbf{u} та $\boldsymbol{\phi}$ є неперервними в області дослідження.

Для визначення напружень у мікрополярному середовищі у літературі використовуються два відомих підходи. Перший з них ґрунтується на застосуванні формул для розрахунку силових та моментних напружень у постановці Новацького [3, 4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ji} &= (\mu + \alpha)\gamma_{ji} + (\mu - \alpha)\gamma_{ij} + \lambda\gamma_{rr}\delta_{ij}, \\ \mu_{ji} &= (\gamma + \varepsilon)\kappa_{ji} + (\gamma - \varepsilon)\kappa_{ij} + \beta\kappa_{rr}\delta_{ij}, \end{aligned} \quad (3)$$

де λ , μ – сталі Ляме, α , β , γ , ε – мікрополярні сталі, що оптують механічні властивості ізотропного пружного середовища Коссера, $\gamma_{ij} = u_{i,j} - \epsilon_{kji} \phi_k$ – тензор асиметричної деформації, $\kappa_{ij} = \phi_{i,j}$ – згинально-крутний тензор.

Такий підхід використовується у роботах [3, 5], присвячених аналітично-числовому аналізу. Тут поряд з пружними характеристиками матеріалу у рамках класичної теорії пружності λ та μ використовуються також пружні

характеристики у рамках моментної теорії пружності α, β, γ та κ .

Експериментальні дослідження механічних характеристик пінистих матеріалів у рамках моментного континууму Коссера, результати яких наведено у роботах R.S. Lakes та ін. [6], ґрунтується на застосуванні формул Ерінгена для визначення силових та моментних напружень [7]:

$$\begin{aligned}\sigma_{ji} &= 2G\varepsilon_{ji} + \lambda\varepsilon_{rr}\delta_{ji} + \kappa \varepsilon_{ijk} (\omega_k - \phi_k), \\ \mu_{ji} &= \alpha\phi_{r,r}\delta_{ji} + \beta\phi_{j,i} + \gamma\phi_{i,j},\end{aligned}\quad (5)$$

де $\varepsilon_{ij}=(u_{i,j} - u_{j,i})/2$, $\omega_k=(\varepsilon_{kji} u_{i,j})/2$ – макророти. Величина сталої Ляме λ є однакою для випадку класичної та моментної теорії пружності. Інші пружні сталі враховують мікроструктуру матеріалу.

У роботі за використання непрямого підходу методу граничних елементів у області Фур'є-зображень побудовано інтегральні залежності для розрахунку напружень та деформацій у пружному мікрополярному середовищі. Точність запропонованого підходу обумовлена використанням ефективних числових методів, таких як метод колокації та метод механічних квадратур, а також використання суто числового розрахунку лише на етапі визначення оригіналів напружень та деформацій.

3. Результати та Висновки

Запропонований у роботі метод, що ґрунтується на аналітично-числовому моделюванні нестационарних процесів у структурно-неоднорідних матеріалах, дозволяє проводити не тільки аналіз розподілу напружень та деформацій у відповідних конструктивних елементах, а і здійснювати оптимізацію механічних характеристик таких матеріалів на основі аналізу зміни напружено-деформованого стану елементів конструкцій.

Список посилань

1. Божидарнік В.В. Елементи теорії пружності / В.В. Божидарнік, Г.Т. Сулим. – Л.: Світ, 1994. – 560с.
2. Erofeev, V.I.: Wave Processes in Solids with Microstructure. World Scientific, Singapore (2003).
3. Mikulich, O.: Wave Propagation Speed Analysis in Polyurethane Foams. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 465-472 (2023).
4. Nowacki W. Theory of asymmetric elasticity. - Warszawa, Poland: Scientific Publishers (PWN) & Pergamon Press, 1986. – 126 p.
5. Sulym, H., Mikulich, O., Shvabyuk V.: Investigation of the dynamic stress state of foam media in Cosserat elasticity. Mechanics and Mechanical Engineering, 22(3), 739-749 (2018).
6. Z. Rueger, Z., Lakes, R.: Experimental Study of Elastic Constants of a Dense Foam with Weak Cosserat Coupling. Journal of Elasticity 137, 101-115 (2019).
7. Eringen A.K. (1975) Theory of micropolar elasticity. Destruction (Moscow), 2, 646-751.

Особливості фізико-механічних характеристик порошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розділення

Олійник Нонна, Ільницька Галина, Петасюк Григорій, Базалій Галина

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, Київ, 04074, Україна
oleynik_nonna@ukr.net

Анотація. Досліджено фізико-механічні характеристики шліфпорошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розділення, яке проведено в одну стадію. В роботі використано відомі методики дослідження шліфпорошків синтетичного алмазу з використанням приладу приладу Dialnspect.OSM. Статичну міцність досліджено з допомогою приладу ДА-2. Встановлено, що застосування флотаційного розділення алмазного порошку марки АС20 зернистості 100/80 дозволяє отримати порошок алмазу з підвищеним показником міцності при статичному стисканні на 23,8%, підвищеною однорідністю за міцністю на 25,0%, суттєво зниженою часткою домішок та включень, морфометричними характеристиками близькими до вихідного порошку

Ключові слова: шліфпорошок синтетичного алмазу, флотація, міцність, морфометричні характеристики.

1. Вступ

Розвиток сучасних технологій машинобудування потребує отримання якісних та однорідних за характеристиками порошоків синтетичного алмазу.

Відомо, що якість алмазних порошоків в основному визначається умовами синтезу, істотний вплив на них мають хімічні та фізичні оброблення, які застосовують при вилученні алмазної сировини та виготовленні порошоків [1].

Для підвищення якості порошку застосовують сортування різними методами в тому числі флотаційне розділення порошку.

Найбільш відомі дослідження, присвячені тематиці застосування методу флотаційного розділення порошоків синтетичного алмазу, проведено та опубліковано доктором технічних наук Богатирьовою Г.П. В роботах Богатирьової Г.П. показано, що з використанням флотаційного розподілу частинок алмазу можливе сортування порошку синтетичного алмазу за міцністю [2].

Спосіб флотаційного розділення застосовують для порошків з середнім розміром частинок 0,1-0,04 мм та менших за 100 мкм [3].

Значний науково-прикладний інтерес полягає у розширенні досліджень з вивчення на кількісному рівні більш широкого кола характеристик і властивостей, які можуть коригуватись методом флотації, та класу крупності порошків синтетичного алмазу, які використовують в абразивному інструменті, наприклад, шліфпорошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 [2, 4, 5].

Мета роботи – дослідження фізико-механічних характеристик продуктів флотаційного розділення шліфпорошку алмазу, який призначено для використання в абразивному інструменті.

2. Методика дослідження

Досліджено порошок алмазу марки АС 20, зернистість 100/80, який синтезовано в системі Ni-Mn-C та продукти (пінний та камерний), які отримано в результаті флотаційного розділення вихідного порошку. Процес проведено в одну стадію, продукти розділення хімічно очищені від флотореагентів. В роботі визначали показники міцності при статичному стисканні згідно характеристик марок за ДСТУ 3292-95, розподілення зерен порошків за розмірами, однорідність за міцністю (вміст зерен алмазу в пробі відповідних номінальній марці порошку, що визначається за паспортом міцності проби порошку) [6, 7]. При використанні відомих методик визначено розподілення частинок порошку за розмірами, питому магнітну сприйнятливість порошку (χ , 10^{-8} , м³/кг) та масову частку домішок у вигляді неспалимого залишку (% за масою). Міцність зерен при статичному стисканні за методикою цього ж стандарту із застосуванням приладу ДА-2 [7]. Визначення морфометричних характеристик виконували за допомогою приладу DialInspect.OSM [8]. Встановлювали мінімальний (F_{min} , мкм) та максимальний (F_{max} , мкм) діаметри Фере, висоту зерна (H), шорсткість проекції зерна (Rg), показник зовнішньої питомої поверхні ($F_{пт}$, м²/кг).

Перелік і геометричне тлумачення цих характеристик, їх поняттєвий сенс подаються в описово-методичних матеріалах фірми-виробника до приладу DialInspect.OSM [8] та в публікаціях авторів цієї статті, наприклад, в [3, 9].

3. Результати роботи та їх обговорення

Результати дослідження розподілу частинок вихідного порошку та продуктів флотації за розмірами показує, що розподілення на вигляд майже на розрізняються. Інтервал розподілення частинок алмазу за розміром 30-160 мкм; в інтервалі 80-125 мкм знаходиться найбільша кількість частинок

(99,32%) вихідного порошку, (99,01%) пінного продукту, (98,96 %) камерного продукту. Кількість частинок (їх маса), які знаходяться у пінному продукті, значно менша ніж у камерному та відрізняється у 6,5 разів.

Причому пінний продукт у порівнянні з камерним продуктом характеризується зниженою питомою поверхнею, низьким вмістом домішок та включень, підвищеною міцністю при статичному стиску та однорідністю за міцністю. Морфометричні характеристики продуктів флотаційного розподілення близькі за значеннями до характеристик вихідного порошку. Розподіл частинок вихідного порошку та продуктів флотаційного розподілу близькі на вигляд. Але проведена математична лінійна апроксимація кривих розподілу показує, що тангенс кута нахилу кривих розрізняється. Тангенс кута нахилу розподілу пінного продукту становить 1,86 , камерного продукту –1,60, вихідного порошку – 1,68. Отже, розподілення порошку пінного продукту за міцністю зерен при статичному стисканні найбільше однорідне.

4. Висновки

Застосування флотаційного розподілу алмазного шліфпорошку марки АС 20 зернистості 100/80 дозволяє отримати порошок алмазу, що характеризується збільшеним показником міцності при статичному стиску на 23,8%, збільшеною однорідністю за міцністю на 25,0%, суттєво зниженою кількістю включень. Причому пінний продукт у порівнянні з камерним продуктом характеризується зниженою питомою поверхнею, низьким вмістом домішок та включень, підвищеною міцністю при статичному стиску та однорідністю за міцністю. Морфометричні характеристики продуктів флотаційного розподілу близькі за значеннями до характеристик вихідного порошку.

Список посилань

1. Богатырева Г.П. Влияние способов дезинтеграции алмазно-графитового материала на показатели качества алмазного сырья и порошков / Г.П. Богатырева, Н.А. Олейник, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницкая, Г.А. Базалий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – Вып. 5. – С. 169-173.
2. Богатырева Г.П. Сортировка алмазов по прочности флотацией // Синтетические алмазы. – 1972. – вып. 3. – С. 23-25.
3. Богатырева Г.П. К вопросу однородности алмазных микропорошков по морфометрическим характеристикам / Г.П. Богатырева, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалий, В.С. Шамраева // Надтверді матеріали, 2009, № 2. – С. 71-81.
4. Подготовительные процессы: Справочник по обогащению руд / Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. – М.: Недра, 1982. – 366 с.
5. Олійник Н.О., Ильницкая Г.Д., Базалий Г.А. Зміна фізико-механічних характеристик шліфпорошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 під впливом флотаційного

- розділення // Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару, 15-16 березня 2023 р. – Київ: АТМ України, 2023 – С.81-83.
6. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови: ДСТУ 3292-95. – [Чинний від 1997-01-01]. – К., Держстандарт України, 1996. – 70 с.
 7. Лошак М., Александрова Л., Косенчук Т., Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження // Метрологія та прилади. – 2013. – №2 (40). – С. 11-15.
 8. DiaInspect.OSM. Automated particle analysis for superabrasives and surface analysis 2010. Operation guide Version 1.2.8. Отримано з <https://vdiamant.de / languages/diainspect-osm.html>
 9. Петасюк Г.А., Богатырева Г.П. Экстраполяционно-аналитический метод определения внешней удельной поверхности порошков сверхтвердых материалов // Сверхтв. материалы. – 2007. – № 6. – С. 65-76.

Амплітудна модуляція коливань

Оргіян Олександр^[0000-0002-1698-402X], Баланюк Ганна^[0000-0003-1628-0273],
Тіхенко Валентин^[0000-0003-2804-2838]

Національний університет «Одеська політехніка»,
проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна
balanuk.a.v@op.edu.ua

Анотація. При обробці різанням за умов малого запасу стійкості зазвичай розвиваються коливання, модельовані по амплітуді. Причини модуляції коливань в замкнутій динамічній системі верстата часто визначаються змінністю швидкості обертання або ексцентричністю закріплення оброблюваної заготовки. У цій роботі на основі аналізу експериментальних результатів та розрахунків уточнено причини амплітудної модуляції коливань. Модульовані коливання можуть безпосередньо впливати на точність обробки, а також дозволяють прогнозувати наближення до межі вібростійкості. Відомо, що демпфуюча здатність валів, що обертаються, зокрема шпindelних вузлів, зростає зі збільшенням частоти обертання. Різноманітність ефектів взаємодії тіл кочення та впливу мастила ускладнюють розвиток послідовних розрахункових методів визначення демпфуючої здатності, проте для опису швидкісної характеристики демпфування запропоновано ряд моделей. Обертання окремих елементів пружної системи призводить до виникнення амплітудної модуляції коливань і до зменшення резонансних значень амплітуди [1]. Стенд для реєстрації АФЧХ (амплітудно-фазо-частотної характеристики) при шпindelі, що обертається і не обертається, включає систему збудження і вимірювання коливань: індуктивні датчики, тензометричний і вимірювальний підсилювачі, фазовий вольтметр і електромагнітний вібратор. Демпфуюча здатність пружної системи визначається по АФЧХ.

Ключові слова: коефіцієнт демпфування, частота модуляції, амплітуда, швидкість обертання, биття, вібростійкість.

1. Причини виникнення амплітудної модуляції коливань

При обробці матеріалів різанням часто виникають коливання, модульовані за амплітудою. Амплітудна модуляція коливань безпосередньо впливає на точність обробки, а також використовується як ознака наближення до межі стійкості динамічної системи ВПД (верстат-приспосовування-інструмент-деталь) при адаптивному управлінні процесом обробки [2, 3, 4]. Аналіз даних

експерименту дозволяє вказати низку причин амплітудної модуляції коливань:

1) Періодичні зміни параметрів ПДІС (пружно-дисипативно-інерційної системи), наприклад жорсткості ПДІС, ширини зрізу та ін., що впливають на коефіцієнти зв'язаності ПДІС з процесом різання та на запас вібростійкості [5, 6].

2) Коливання швидкості обертання, що змінюють умови регенерації сліду, а також час запізнення [7].

3) Биття, спричинені близькістю власних частот елементів пружної системи (так званий "внутрішній резонанс").

Зазначимо також, що при обертанні площини коливань щодо площини, в якій розташований вимірювальний перетворювач, модуляція може бути такою, що здається, тобто. реєструватися навіть при постійній амплітуді коливань, що вимірюються.

2. Розрахунки приведенного коефіцієнта демпфування

Амплітуда вимушених коливань, що визначається рівнянням

$$\ddot{u} + k\dot{u} + u = \cos v\tau, \quad (4)$$

має максимальне значення

$$A_{\max} = 1/k, \quad (5)$$

де u – радіальні коливання; k – коефіцієнт демпфування; v – частота вимушених коливань; \dot{u} , \ddot{u} – перша і друга похідна по часу від u .

При зовнішньому впливі, модульованому за амплітудою, рівняння

$$\ddot{u} + k\dot{u} + u = \cos \Omega\tau \cos v\tau, \quad (6)$$

має рішення

$$u = [a_1 \cos(v\tau + \Omega\tau - \varphi_1) + a_2 \cos(v\tau - \Omega\tau - \varphi_2)]/2. \quad (7)$$

Припускаючи, що частота модуляції при $\Omega \ll v$, знайдемо при $v = 1$

$$a_{1,2} = (k^2 + 4\Omega^2)^{-1/2}, \quad \varphi_{1,2} = \pi/2 \pm (2\Omega/k) \quad (8)$$

та максимальне значення амплітуди коливань (при глибині модуляції 100 %)

$$A_{\max} = (k^2 + 4\Omega^2)^{-1/2}. \quad (9)$$

Порівнюючи (6) з (2), можна запровадити поняття приведенного коефіцієнта демпфування k^* , що залежить від коефіцієнта демпфування k та частоти модуляції Ω . При глибині модуляції 100%

$$k^* = (k^2 + 4\Omega^2)^{1/2}. \quad (10)$$

Наприклад, при $k = 0,06$ та $\Omega = 0,04$ рівняння (7) дає $k^* = 0,1$.

Таким чином, збільшення демпфуючої здатності шпинделів, що спостерігається при обертанні, можна пов'язати з частотою обертання, виходячи з уявлень про реакцію ПДІС на амплітудно-модульоване обурення.

Список посилань

1. Oborskyi, G.; Orgiyan, A.; Ivanov, V.; Balaniuk, A.; Pavlenko, I.; Trojanowska, J. Improvement of the Dynamic Quality of Cantilever Boring Bars for Fine Boring. *Machines* 2023, 11, 7. <https://doi.org/10.3390/machines11010007>
2. В.С. Мельник, І.В. Шевера. Модуляція коливань у резонансній системі із змінною власною частотою. *Uzhhorod University Scientific Herald. Series Physics. Issue 43.* – 2018.
3. Thomas Barois, S. Perisanu, Pascal Vincent, Stephen T. Purcell, Anthony Ayari. Frequency modulated self-oscillation and phase inertia in a synchronized nanowire mechanical resonator. *New Journal of Physics*, 2014, 16, pp.083009. [ff10.1088/1367-2630/16/8/083009](https://doi.org/10.1088/1367-2630/16/8/083009). [ff.fhal-01058248f](https://doi.org/10.1088/1367-2630/16/8/083009)
4. Баланюк А.В. Колебания друхступенчатых консольных борштанг при тонком растачивании. / А.В. Баланюк // Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Полтава, 2014. С. 131-139.
5. Branislav Ftorek, Pavol Oršanský, Helena Šamajová. Parametric oscillations of the mechanical systems. *MATEC Web of Conferences* 157, 08002 (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815708002>
6. Rauscher, Christoph. 2011. *Grundlagen der Spektrumanalyse (Основы спектрального анализа)*, s.l.: Rohde & Schwarz®, 2011. 5.
7. Копелев Ю.Ф., Оргиян А.А., Кобелев В.М. Параметрические колебания металлорежущих станков. / Под общей редакцией Копелева Ю.Ф. – Одесса: Печатный дом, ОНПУ, 2007. – 352 с. ISBN 978-966-389-103-3

Перспективи застосування електроіскрового легування

Охріменко Віктор ^[0000-0002-3119-8262], Гапонова Оксана ^[0000-0002-4866-0599]

Сумський державний університет,
вул. Миколи Сумцова, 2, Суми, 40000, Україна
v.okhrimenko@pmtkm.sumdu.edu.ua

Анотація. У роботі розглядається аналіз основних методів, які можуть підвищити зносостійкість деталей трибосистем. Виявлено, що традиційні методи, такі як хіміко-термічна обробка та інші, мають свої недоліки. Натомість, методи поверхневого зміцнення та модифікування, які базуються на електроіскровому легуванні (ЕІЛ), є перспективними. ЕІЛ має широкі можливості для формування певної структури, фазового та хімічного складу поверхні, що дозволяє підвищувати експлуатаційні властивості деталей. Вивчення закономірностей формування функціональних покриттів методом ЕІЛ, які забезпечують підвищення зносостійкості сталевих деталей вузлів тертя машин, є актуальним та перспективним.

Ключові слова: електроіскрове легування, мікроструктура, сталь.

Щоб покращити поверхні властивості сталей, часто використовують хіміко-термічну обробку, яка є дуже поширеною технологією поверхневого зміцнення. Азотування поверхонь деталей машин, що працюють в умовах зношування, є однією з найпопулярніших методів, оскільки воно створює на поверхні виробу нітриди, які надають йому високу поверхневу твердість приблизно 1200 HV. Цей метод застосовують для деталей, які піддаються важкому навантаженню, працюють в корозійному середовищі та зношуються, такі як зубці шестерень, ходові гвинти верстатів та клапани двигунів внутрішнього згорання. Основні вимоги до цих деталей полягають не лише в їх високій зносостійкості, але й у високій якості поверхні та шорсткості [1-2].

Хоча метод хіміко-термічної обробки має багато переваг, він також має свої недоліки, такі як термічний нагрів всієї деталі, який може призвести до структурних змін, а також необхідність використання габаритного та високовартісного обладнання для проведення азотування в газовому середовищі. Найбільшою проблемою є значна тривалість процесу насичення поверхні, що може негативно впливати на ефективність та економічність виробництва.

Зараз обробка поверхні деталей машинобудівного комплексу є важливою та популярною. Технологи та конструктори шукають нові способи покращення якості та товщини поверхневих шарів, зносостійкості та

корозійної стійкості виробів, а також зменшення вартості нанесеного покриття. Хоча азотування є методом зміцнення, воно має обмежену товщину покриття, що може бути недостатнім для деталей, що піддаються зношуванню.

Один із сучасних методів поверхневого зміцнення виробів – електроіскрове легування (ЕІЛ), яке дозволяє отримати поверхневий шар з унікальними трибологічними властивостями та не змінити серцевину виробу, збільшити товщину зносостійкого поверхневого шару виробів та замінити більш дорогі матеріали більш доступними. ЕІЛ має багато переваг, таких як локальне нанесення покриття без пошкодження інших поверхонь виробу та мінімальний термічний вплив на основний метал [3-6].

Останнім часом комбіновані методи поверхневої обробки набули популярності. Ці методи поєднують дві або більше технології для нанесення покриттів, зокрема хіміко-термічну обробку у поєднанні з ЕІЛ. Вони дозволяють досягти збільшення товщини та мікротвердості покриття і регулювати мікротвердість шляхом зміни послідовності процесу насичення поверхневого шару, що дозволяє підібрати оптимальний режим для потрібного виробу [7-8].

У роботі [9] було проаналізовано метод отримання покриття електроіскровим легуванням у газових середовищах (аргон, водень, азот), використовуючи твердосплавні електроди. Дослідження показало, що легування твердим сплавом та азотування за допомогою лазера забезпечують зміцнення поверхні виробу на 40% і більше, що пояснюється утворенням нітридів на поверхні. В роботі [10] було виявлено, що комбінований підхід азотування та дискретної лазерної обробки на сталі 30Х2НВФА дозволив отримати покриття з нітридним поверхневим шаром та підшарком із включень, що підвищило контактну-втомну міцність та опір зношуванню кульково-гвинтового механізму у 2 рази порівняно зі стандартним азотуванням [11].

Отже комбіновані методи поверхневої обробки матеріалів є перспективними технологіями для підвищення поверхневої міцності, зносостійкості та корозійної стійкості. Використання таких методів може замінити стандартні технології хімічного та термічного отримання покриттів, а також дозволяє наносити покриття лише на необхідну зону без нанесення захисту на всю поверхню виробу, що прискорює процеси їхнього нанесення. Знижує затрати на виробництво та обладнання.

Список посилань

1. Aftandyliants E. G. Materials Science: Textbook / E. G. Aftandylyants, O.V. Zazimko, K. G. Lopatko. – К.: Higher education, 2012. – 548 p.
2. Anuriev V.I. Reference book of the designer of the machine builder: In 3 volumes – М.: Mashinostroenie, 2006. – Т. I – 928 p.; Т. 2. – 559 p.; Т. Z. – 557 p.

3. Tarel'nyk V.B. Investigation of Regularities of the Processes of Formation of Surface Layers with Electroerosive Alloying. Part I. / V.B. Tarel'nyk, O.P. Gaponova, Ye.V. Konoplyanchenko, M.Ya. Dovzhyk // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2016. – Vol. 38. – No. 12. – P. 1611-1633 <https://doi.org/10.15407/mfint.38.12.1611>.
4. Korotaev D.N. Substructural surface hardening of parts by the tribosystem method of electrospark alloying / D.N. Korotaev, E.V. Ivanova // *Prospective materials.* – 2011. – No. 2. – P. 38-102.
5. Mosina T.V. Electric spark for the Composite Material of Both TiN – AlN and TiN – AlN – (Ni – Cr) Systems as the Method of Wear-Resistant Coating Application. *Novye Ogneupory (New Refractories)*. 2013; (9):61-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2013-9-61-64>.
6. Norbert Radek, Konrad Bartkowiak Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam // *Physics Procedia*, Volume 5, Part A, 2010, Pages 417-423.
7. Ivashchenko E.V. Formation of the surface hardened layer during chemical-thermal treatment of iron combined with electrospark alloying / E.V. Ivashchenko, H.G. Lobachova, V.F. Mazanko // *Thermal and chemical-thermal processing.* – 2010. – p. 39-42.
8. Influence of the alloying environment and additional nitriding on the microhardness, structure and phase composition of the iron substrate / Khranovska K.M., Mazanko V.F., Ivashchenko E.V., Lobachova H.G. // *Physico-chemical mechanics of materials.* – 2010. – Vol. 8, No. 4. – P. 371-375.
9. Zavoyko O.S. The mechanism of the process of electrospark alloying with gas deposition / O.S. Zavoyko S.M. Novikov // *Exploration and development of oil and gas fields.* – 2013. – No. 3(48). – P. 119-126.
10. Kindrachuk M.V. The combined method of increasing the wear resistance of parts of tribomechanical systems / M.V. Kindrachuk, O.I. Dukhota, V.V. Kharchenko, N.M. Stebeletska, A.L. Glovyn // *Problems of Friction and Wear.* – 2022. – No. 2(95). – p. 46-57.
11. Dukhota, O.I., Pohrelyuk, I.M., Molyar, O.H., Pichuhin, A.T., Lukyanenko, O.H. (2012) Effect of low-temperature oxidation and oxynitriding on the fretting corrosion of VT22 titanium alloy, *Mater. Sci.*, 48, 2, 213-218.

Визначення раціональної схеми пресування при виготовленні багат шарових фільтруючих елементів

Повстяной Олександр^{1[0000-0002-1416-225X]}, Михайлов Анатолій^{2[0000-0003-1442-0658]},
Штефан Євгеній^{3[0000-0002-0697-7651]}, Михайлов Олег^{2[0000-0001-6040-2376]}

¹ Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

² Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ, 03142, Україна

³ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна
olmi2016@i.ua

Анотація. Методом комп'ютерного моделювання досліджено процес радіально-ізостатичного пресування багат шарових фільтруючих елементів з порошку сталі ШХ15. Моделювання виконано методом скінчених елементів із використанням співвідношень теорії пластичності пористого тіла. Розглянуто дві схеми отримання фільтруючих елементів циліндричної форми: пресування на оправку та пресування на матрицю. Встановлено вплив схеми пресування на радіальний розподіл пористості фільтруючих елементів. При отриманні одношарових фільтруючих елементів розподіл пористості аналогічний для обох схем пресування. Зі збільшенням радіуса пористість зростає. У той же час, схема пресування впливає на розподіл пористості багат шарових фільтруючих елементів. Застосування схеми пресування на оправку дозволяє отримати монотонний розподіл пористості по перерізу фільтруючого елемента. Пористість зростає зі збільшенням радіуса як у кожному шарі, так і по всьому перерізу фільтруючого елемента. При пресуванні на матрицю зі збільшенням радіуса пористість зростає всередині кожного шару, але зменшується від шару до шару.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, метод скінчених елементів, радіально-ізостатичне пресування, фільтруючий елемент, розподіл пористості.

Одним з перспективних методів отримання фільтруючих елементів, що забезпечують очищення рідин і газів, є метод радіально-ізостатичного пресування порошків [1, 2]. Метод дозволяє виготовляти довгомірні вироби простої та складної форми з рівномірним розподілом пористості. Ущільнення порошку відбувається під впливом еластичного елемента. Методом

радіально-ізостатичного пресування отримують також багат шарові фільтри, пористість шарів яких відрізняється. Завдяки наявності змінної пористості має місце більш рівномірний розподіл забруднювача по об'єму у порівнянні з одношаровими фільтруючими елементами, що дозволяє збільшити ресурс роботи фільтру. При цьому підвищується ефективність очищення.

Можливі дві схеми отримання фільтруючих елементів циліндричної форми: пресування на оправку та пресування на матрицю (рис. 1). Методом комп'ютерного моделювання досліджено вплив схеми пресування на радіальний розподіл пористості фільтруючих елементів.

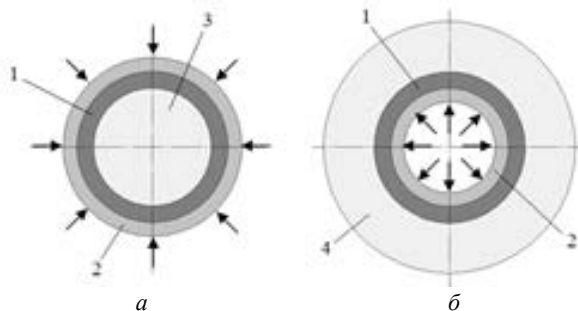


Рис. 1. Схеми пресування на оправку (а) та на матрицю (б):

1 – порошок, що ущільнюється; 2 – пружний елемент; 3 – оправка; 4 – матриця

Матеріал фільтруючих елементів – сталь ШХ15, матеріал еластичного елемента – поліуретан. Величина початкової пористості засипаного порошку була 0,8. Розглядалося ущільнення одношарових, а також двошарових і тришарових фільтруючих елементів. Вважали, що розмір частинок порошку шарів багат шарових фільтруючих елементів однаковий. Моделювання виконано методом скінчених елементів із використанням співвідношень теорії пластичності пористого тіла [3].

При отриманні одношарових фільтруючих елементів розподіл пористості аналогічний для обох схем пресування. Розподіл нерівномірний, зі збільшенням радіуса пористість зростає. По мірі збільшення ступеня деформації різниця між величинами пористості матеріалу у внутрішньої і зовнішньої поверхонь фільтра зменшується.

У той же час, схема пресування впливає на розподіл пористості багат шарових фільтруючих елементів.

При пресуванні на оправку ущільнення другого (зовнішнього) шару відбувається так само, як і першого шару. При цьому більш щільний внутрішній шар деформується незначно та виконує роль оправки. Подальше збільшення навантаження призводить до того, що настає момент, коли зовнішній шар ущільнився і обидва шари продовжують деформуватися одночасно.

Застосування схеми пресування на оправку дозволяє отримати монотонний розподіл пористості по перерізу фільтруючого елемента. Пористість зростає зі збільшенням радіусу як у кожному шарі, так і по всьому перерізу фільтруючого елемента (рис. 2, *a*).

При пресуванні на матрицю багат шарових фільтруючих елементів мінімальна пористість кожного шару відповідає області у його внутрішній поверхні. У той же час величина пористості збільшується від поверхневого шару до внутрішнього (рис. 2, *б*).

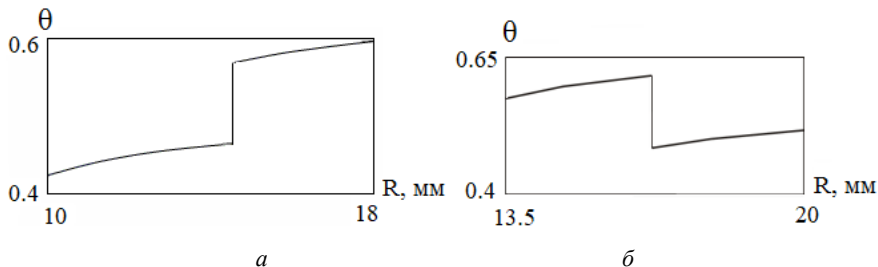


Рис. 2. Розподіл пористості у двошаровому фільтруючому елементі при пресуванні на оправку (*a*) та пресуванні на матрицю (*б*)

При подальшому ущільненні внутрішнього шару ця різниця зменшується, і ми отримаємо практично одношаровий, а не багат шаровий фільтруючий елемент.

Таким чином можна зробити висновок, що при виготовленні багат шарових фільтруючих елементів з монотонним розподілом пористості доцільно застосовувати схему ущільнення на оправку.

Список посилань

1. Технології, структура, властивості пористих проникних матеріалів: Монографія. / В.Д. Рудь, О.Ю. Повстяной, О.В. Заболотний, Л.С. Богінський. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2016. 200 с.
2. Повстяной О.Ю., Михайлов А.О., Рудь В.Д., Михайлов О.В. Моделювання ущільнення порошкових фільтруючих елементів під час радіально-ізостатичного пресування. *Успіхи матеріалознавства*. Київ: ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2020. № 1. С.33-39.
3. Штерн М.Б., Михайлов О.В., Михайлов А.О. Узагальнена континуальна модель пластичності порошкових та пористих матеріалів. *Порошкова металургія*. Київ, 2021. № 1/2. С. 27-44 .

Вплив несучої системи верстата на показники його якості

Полінкевич Роман^[0000-0002-4243-5585], Редько Ростислав^[0000-0001-5066-0224],
Четвержук Тарас^[0000-0002-4445-4632], Зубовецька Наталія^[0000-0002-3101-3299]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
t.chetverzhuk@lutsk-ntu.com.ua

Анотація. Інтерес до жорсткості несучих вузлів верстатів безперервно зростає у зв'язку з розвитком промисловості у області створення нових конструкцій металорізальних верстатів, ріжучих інструментів, нових марок оброблюваних матеріалів і технологічних процесів. Невідповідність цих елементів один одному створює небезпеку виникнення вібрацій не, тільки при різанні, але і при холостому ході. Вдосконалення ріжучого інструменту збільшує об'єм стружки, що знімається із заготовки, за одиницю часу при значному збільшенні швидкохідності верстатів. Збільшення швидкохідності вимагає покращення інерційних властивостей верстатів і підвищення їх надійності, що досягається зменшенням розмірів вузлів шпинделів, ходових гвинтів, полегшенням супортів, столів. Зменшення маси вузлів, які переміщуються і обертаються, може служити причиною зниження жорсткості і вібростійкості.

Ключова слова: металорізальний верстат, несуча система, шпиндель, вузол.

Несуча система утворюється сукупністю елементів верстата, через які зникаються сили, що виникають при різанні матеріалів. До елементів несучої системи відносяться шпиндель з опорами, станини та корпусні деталі верстатів. Несуча система – найбільш специфічна система верстата, і її характеристики впливають на взаємодію всіх вузлів верстата. В міру удосконалення інших вузлів, інтенсифікація режимів різання, підвищення рівня автоматизації, несуча система все в більшій мірі визначають вихідні характеристики верстата.

Загальну картину впливу характеристик несучої системи на показники якості верстатів ілюструє рис. 1. Як видно, якість несучої системи характеризується відносними переміщеннями її елементів, в першу чергу розміщених в зоні різання (інструмента та заготовки), під дією збурень різної природи – кінематичних, силових, теплових, параметричних.

Високі показники якості несучої системи закладаються на стадії проектування верстата за допомогою розрахунків. Хоча якісні взаємозв'язки

між параметрами несучої системи і характеристиками роботоздатності верстатів є досить зрозумілими, відповідні математичні моделі на теперішній час відсутні. Тому на практиці використовуються відносні розрахунки несучої системи за умовними показниками якості.

Як відомо, раніше за все стали застосовувати розрахунки жорсткості, розроблені на основі загальних положень механіки стержневих систем. При цьому несуча система розглядається як рама з пружним з'єднанням елементів. Розрахункові розміри рами визначаються за положенням умовно вибраних розрахункових січень, в яких діючою вважається відповідне навантаження. Елементи, які утворюють раму, розглядаються як суцільні бруски деякої заданої жорсткості.

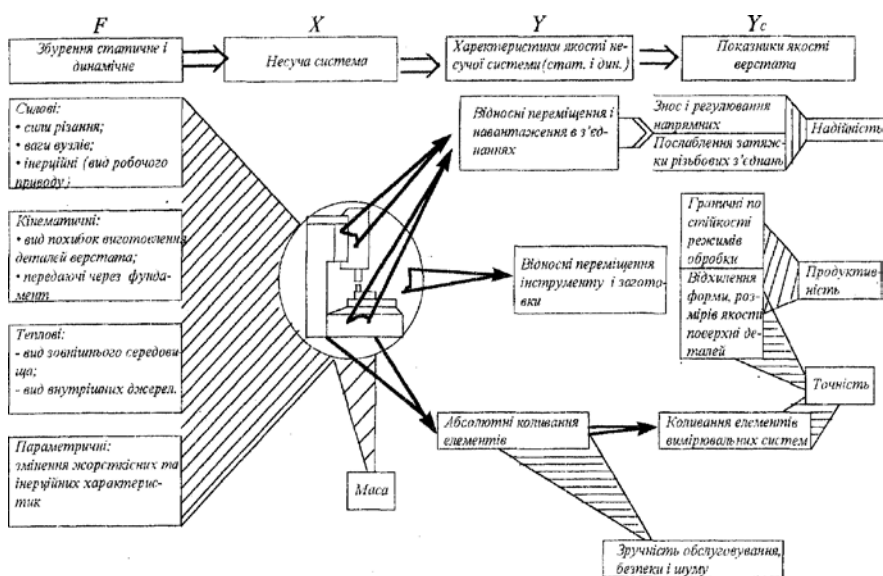


Рис. 1. Вплив характеристик несучої системи на показники якості верстата

При визначенні переміщень в з'єднаннях елементів використовують експериментальні значення коефіцієнтів пропорційності між нормальними навантаженнями і зміщеннями.

Автоматизований розрахунок включає наступні типові етапи (рис. 2):

1. Побудова розрахункової схеми.
2. Визначення розрахункових параметрів елементів несучої системи.
3. Визначення статичних і динамічних характеристик несучої системи.
4. Аналіз статичних і динамічних характеристик несучої системи.

Використання для ряду адаптивних систем як вхідного сигналу рівня вібрацій, що виникають при різанні, вимагає розвитку методів аналітичного визначення стійкості і амплітуд автоколиваний верстатів при різанні, а також забезпечення статичної й динамічної точності верстата на стадії його проектування.

При аналізі статичних характеристик несучої системи верстата спочатку оцінюються величини складових сумарної деформації (наприклад, їхнього впливу на точність, працездатність верстата). Потім для складових, котрі лімітують точність, працездатність верстата, визначають за допомогою балансу слабких ланок (ділянки). Слабкими є ділянки, що мають найбільшу частку в балансі даної складової.

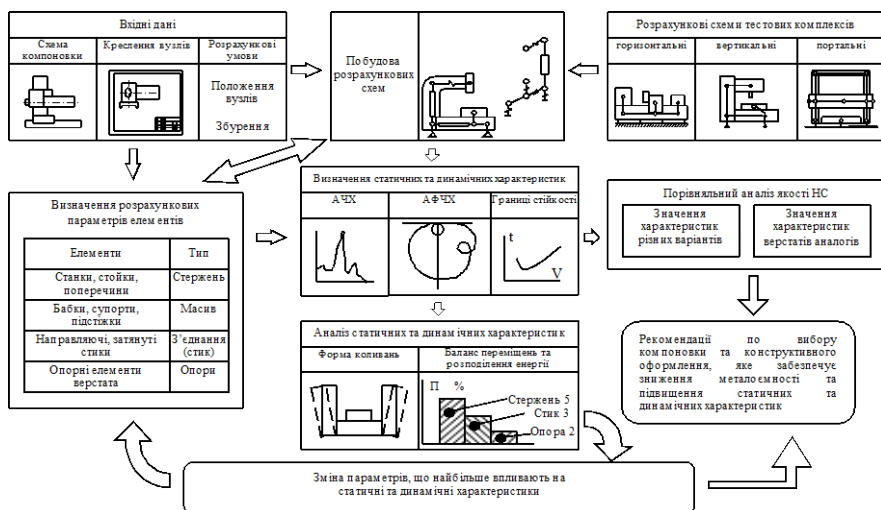


Рис. 2. Структура автоматизованого розрахунку несучої системи

Розрахунок динамічних характеристик починається з визначення власних частот коливань пружної системи верстата. Переглянувши масив значень нижчих власних частот, варто попередньо вказати нижнє і верхнє значення діапазону для подальшого аналізу (зазвичай 0 - 300 Гц для несучої системи, 0 - 1000 Гц для шпиндельних вузлів).

Список посилань

1. Taras Chetverzhuk, Oleg Zabolotnyi, Viktor Sychuk, Roman Polinkevych and Anatolii Tkachuk. A Method of Body Parts Force Displacements Calculation of Metal-Cutting

Machine Tools Using CAD and CAE Technologies. Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC), Print ISSN: 2516-0281, Online ISSN: 2516-029X, pp. 37-47, Vol. 3, No. 4, 1st October 2019, Published by International Association of Educators and Researchers (IAER), DOI: 10.33166/AETiC.2019.04.004, Available: <http://aetic.theiaer.org/archive/v3/v3n4/p4.html>

2. Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В. Математичні моделі для проектування важких верстатів в концепції «Індустрія 4.0». Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2019). Тези дев'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. Харків – Одеса: НТУ «ХПІ», 2019. С. 14.
3. Струтинський В.Б. Вібраційні процеси механічної обробки: монографія / В.Б. Струтинський, І.В. Перфілов. – Київ: Хімджест. – 2015. – 579 с.
4. Четвержук Т.І., Редько Р.Г., Полінкевич Р.М., Залета О.М., Валецький Б.П. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. №73. – С. 101-104.

Корозійні властивості оксидокерамічних покриттів синтезованих на сплавах Д16 та АМг5

Посувайло Володимир, Білий Левко, Івашків Василь, Ковальчук Ігор

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна
vposuvailo@gmail.com

Анотація. Плазмоелектролітичне оксидування (ПЕО) – ефективний, вид обробки поверхні та зміцнення алюмінієвих виробів. У даній роботі оцінено вплив додавання озону в електроліт оксидування на корозійні властивості покриттів. ПЕО покриття синтезували на сплавах Д16 і АМг5. Корозійні властивості досліджували у 3% водному розчині NaCl і в цьому ж розчині, насиченому сірководнем.

Встановлено, що корозійна стійкість покритих сплавів на два порядки вища, ніж у вихідних сплавів. Корозійні процеси відбуваються в наскрізних порах. Результати досліджень імпедансу показали, що їх стійкість зростає після 20 днів перебування в корозійному середовищі і залишається значною протягом 150 днів.

Ключові слова: ПЕО-покриття, плазмо-електролітне оксидування, озон, оксидокерамічне покриття, корозійна стійкість.

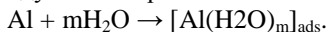
Плазмо-електролітне оксидування (ПЕО) – ефективний, порівняно новий вид поверхневого оброблення та зміцнення металевих виробів, яке часто використовують для формування оксидокерамічних покриттів. Такі покриття мають високу мікротвердість, діелектричні властивості, зносо- та корозивну тривкість. Синтез, фазовий склад та властивості таких покриттів детально досліджені раніше [1, 2], однак, сам процес досить енергозатратний. Оптимальна густина струму для синтезу таких покриттів становить 20...25 A/dm² за досить низької швидкості утворення (2 μm/min) [3]. З метою збільшення швидкості росту до електроліту додають окиснювачі, зокрема, пероксид водню або озон.

Нижче оцінено вплив озону на корозійні властивості покриттів синтезованих на сплавах Д16 та АМг5 у 3%-му водному розчині NaCl та в цьому ж розчині, насиченому сірководнем.

Оксидокерамічні покриття синтезували на зразках з алюмінієвих сплавів Д16 та АМг5 за стандартною методикою та під час барботування озоном. Густина анодного струму $J_a = 10$ A/dm², катодного $J_c = 10$ A/dm². Тривалість синтезу 60 min. Електролітами були водні розчини двох типів: ЕЛ-1: 1 – 3 g/l KOH + 2 g/l Na₂SiO₃; ЕЛ-2: 2 – 3 g/l KOH + 6 g/l Na₂SiO₃ + O₃.

Поляризаційні криві знімали потенціостатом ПИ-2МК-10А у триелектродній комірці за температури 25°C, швидкості розгортки 1 mV/s, застосовуючи допоміжний графітовий та хлоридсрібний електроди порівняння. Корозивне середовище – 3%-ий водний розчин NaCl, природно аерований або насичений сірководнем. Захисні властивості покриттів вивчали методом електрохімічної імпедансної спектроскопії за частот змінного струму 0,1; 0,2; 1; 10; 50 і 100 kHz. Опір і ємність покриттів вимірювали в електрохімічній комірці на автоматичному мості змінного струму Р-5083. Робочими поверхнями (електродами) були ділянки покриттів розміром 0,65 cm², допоміжним електродом слугувала платинова спіраль.

Результати та їх обговорення. Виявили, що на катодних кривих сплавів, знятих у 3%-му NaCl, плато відповідає кисневій деполяризації. Швидкість анодних процесів тут суттєво вища, ніж катодних, тому швидкість корозії для сплавів АМг5 та Д16 залежить від швидкості катодних процесів і становить $4,6 \times 10^{-3}$ та $4,0 \times 10^{-3}$ mA/cm² відповідно. За насичення 3%-го розчину NaCl сірководнем вона зростає у 2,6 та 3 рази. Це закономірно, оскільки за цих умов рН середовища зменшується від 7 до 4, що пришвидшує анодний процес. Киснева деполяризація змінюється на водневу через зростання вмісту (йонів H⁺), що інтенсифікує швидкість катодних процесів. Швидкість корозії зразків з ПЕО покриттями уповільнюється внаслідок зменшення площі контакту сплаву зі середовищем. Потенціали корозії зразків без покриттів та з покриттями практично однакові, що підтверджує однакову природу корозійних процесів. Імпедансні дослідження виявили, що опір зразків з покриттям зростає через 20 days витримки у 3%-му розчині NaCl і залишається незмінним 150 days. Це пов'язано із закриттям наскрізних пор продуктами корозії за механізмом [4]:



Захисні властивості усіх покриттів практично однакові, а їх опір у 3%-му NaCl становить 1...4 GΩ·cm². Дещо кращі параметри імпедансу має сплав Д16. За тривалої подальшої витримки покриттів спостерігають зворотний процес. Зі зростанням опору захисні властивості покриттів поліпшуються та забезпечується захист обох сплавів від корозії. Через незначну площу пор ($0,5...1,5 \times 10^2$ μm²) продукти корозії закривають доступ середовища до основи сплавів, поліпшуючи так їх захисні властивості.

Високі захисні характеристики (F = 1 kHz) підтверджують порівняння залежностей ємності від часу витримування в 3%-му розчині NaCl. Найнижчу ємність мають покриття, синтезовані в електроліті ЕЛ-1 після тривалої витримки, що корелює з їх підвищеною поруватістю. Через певний час ємність всіх оксидокерамічних покриттів стабілізується і знаходиться на рівні 1...4 pF/cm².

Виявили, що ємність всіх покриттів після різного часу експозиції у 3%-му NaCl практично не залежить від частоти змінного струму. Очевидно, тут важливу роль відіграють їх бар'єрні властивості. Високі захисні

характеристики для сплавів зафіксували після витримки 20; 60 і 90 days, що підтверджують прямолінійні залежності ємності від частоти змінного струму. Опір покриттів з ростом частоти змінного струму зменшується, що свідчить про їх поліпшені захисні властивості.

Висновки

Встановлено, що корозійна тривкість сплавів з ПЕО покриттям на два порядки вища, ніж у вихідних сплавів. Корозійні процеси відбувається у наскрізних порах покриттів. Запропоновані покриття суттєво підвищують корозійну тривкість алюмінієвих сплавів. Результати імпедансних досліджень виявили, що їх опір зростає після витримування 20 days у корозивному середовищі і залишається суттєвим упродовж 150 days. Це пов'язано із закриттям пор продуктами корозії. Усі покриття володіють поліпшеними захисними властивостями, а їх опір у 3%-му водному розчині натрію хлориду становить $1...56 \text{ G}\Omega\text{-cm}^2$. Водночас їх ємність стабілізується і знаходиться в межах $1...5 \text{ pF/cm}^2$, що характерно для високих захисних характеристик покриттів. Їх корозійна тривкість на сплаві Д16 вдвічі вища, ніж на сплаві АМг5. Отримані дані свідчать про перспективність їх застосування в промисловості для захисту деталей з алюмінієвих сплавів від корозії.

Список посилань

1. Корозійна тривкість плазмоелектролітних шарів на сплавах та покриттях системи Al–Cu–Mg за різної термообробки / М.М. Студент, В.М. Посувайло, Г.Г. Веселівська, Я.Я. Сірак, Р.А. Яцюк // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2017. – 53, № 6. – С. 42-47.
2. Фрикційна поведінка залізвуглецевих сплавів у парі із ПЕО шарами, синтезованими на сплаві Д16Т / М.М. Студент, В.М. Довгуник, В.М. Посувайло, І.В. Ковальчук, В.М. Гвоздецький // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2017. – 53, № 2. – С. 63-70.
3. Anodic processes in plasma electrolytic oxidation of aluminium in alkaline solutions / L.O. Snizhko, A.L. Yerohin, A. Pilkington, N.L. Gurevina, D.O. Misnyankina, A. Leyland, A. Matthews // *Electrochimica Acta*. – 2004. – 49. – P. 2085-2095.
4. Борисенкова Т.А., Калужина С.А. Анодное поведение алюминия в нейтральных электролитах различного анионного состава // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2009. – 11, № 2. – С. 106-109.

Структура і термодинамічні властивості полімерних систем із внутрішньомолекулярною хімічною неоднорідністю

Привалко Елеонора ^[0000-0002-9893-5335]

Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця,
вул. Тараса Шевченка, 13, Київ, 01601, Україна
elprival@ukr.net

Анотація. В роботі експериментально досліджено ієрархію структурних наногетерогенностей у полімерних системах із внутрішньо- і міжмолекулярною хімічною неоднорідністю з метою з'ясування їхнього впливу на термодинамічні властивості таких систем. Наявність чітких рефлексів на кривих малокутового розсіювання рентгенівських променів (SAXS) для зразків сегрегованих поліуретанів є характерною ознакою існування макрогратки нанодоменів, що виникли в результаті самоасоціації жорстких сегментів ланцюга в неперервній фазі гнучких сегментів. Встановлено, що періодичність макрогратки для зразків лінійно знижується симбатно масовому вмісту жорстких сегментів. Встановлено, що видовження жорстких сегментів і/або блокування кінців ланцюга призводить до більш високої глибини фазового розділення. Порівняно низька глибина фазового розділення є причиною виникнення ієрархії морфологічних структур, починаючи від нанофаз з переважним вмістом гнучких сегментів або жорстких сегментів і закінчуючи міжфазним шаром змінного складу. Значна доля міжфазного шару складається з стерично іммобілізованих гнучких сегментів на периферії нанодоменів жорстких сегментів. Збільшення відносного вмісту міжфазного шару із зменшенням глибини фазового розділу проявляється у зниженні інтенсивності і розширенні спектру часів релаксації процесів некооперативної і кооперативної рухливості гнучких сегментів.

Ключові слова: поліуретани, наногетерогенність, фазова морфологія.

1. Вступ

Бурхливий розвиток науки про полімери протягом трьох чвертей минулого сторіччя привів до розуміння фундаментальних явищ, які відрізняють процеси структуроутворення в „класичних” (неполімерних) і полімерних системах. Основною умовою виникнення впорядкованої структури в будь-якій полімерній системі, а саме здатність до бічної агрегації достатньо

протяжних фрагментів сусідніх макромолекул, залежить від хімічної неоднорідності такої системи.

Саме внутрішньо- чи міжмолекулярну хімічну неоднорідність полімерних систем варто вважати основним фактором, що впливає на процеси спонтанної самоорганізації в області нестійкості однофазного стану, тоді як характерні для довголанцюгових макромолекул великі часи структурної релаксації є причиною незавершеності таких процесів [1]. Ці унікальні особливості полімерних систем призводять до того, що кінцевим результатом процесів спонтанної самоорганізації макромолекул незалежно від їхніх механізмів (нуклеація і ріст кристалічної фази в гомополімерах або ж спінодальний розпад при фазовому поділі в сумішах чи блок-кополімерах) є формування ієрархії морфологічних структур, характеристичні лінійні розміри яких знаходяться в межах від декількох нанометрів (що порівняно з власними розмірами макромолекул) до десятків нанометрів (нанодомени).

2. Основна частина

Сегментовані поліуретани (СПУ) отримували реакцією поліприєднання довголанцюгових фрагментів, які розрізнялися хімічною природою і власною гнучкістю ланцюга. Об'єктами дослідження слугували дві серії модельних СПУ з однаковими олігоглікольними і діізоціанатними фрагментами, які відрізнялися хімічною природою видовжувачів ланцюга і кінцевих груп.

Теоретичні значення екзотермічних теплот розчинення, розраховані за рівнянням (1) в припущенні, що МС складається із стерично іммобілізованих ГС на периферії нанодоменив ЖС, знаходяться в задовільному узгодженні із відповідними експериментальними значеннями для більшості зразків.

$$\Delta H_{sol} = (\Delta H_{sol1} + \Delta H_{ster})W + H_{sol2}(1 - W) \quad (1)$$

де $\Delta H_{ster} = (\Delta c_{p1}' - \Delta c_{p1}/W)(T - T_{s2})$ – надлишкова ентальпія міжфазного шару (МС), $\Delta H_{sol1} \cong 40$ Дж/г і $\Delta H_{sol2} = -(70 \pm 5)$ Дж/г – теплоти розчинення гіпотетичної каучукоподібної фази ГС і склоподібної фази ЖС), $\Delta c_{p1}' = 0.78$ Дж/г·К – стрибок теплоємності при склуванні аморфного гомополімера.

Порівняно низька глибина фазового розділення для досліджених СПУ є причиною виникнення ієрархії морфологічних структур, включаючи нанофази із переважним вмістом гнучких сегментів (ГС) або жорстких сегментів (ЖС) і характерними лінійними розмірами до десятка нм і міжфазні шари (МС) змінного складу (товщина яких зазвичай не перевищує декількох нм). Елементарна схема типової локальної морфології СПУ наведена на **Рис. 1**.

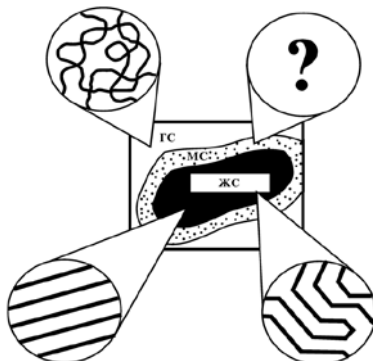


Рис. 1. Схема локальної морфології СПУ

На термограмах термостимульованої деполаризації струму для зразків спостерігали чотири процеси релаксації, два з яких (з максимумами при $T_{\beta 1} = 163$ К і $T_{\beta 2} = 113$ К) відносяться до локальної (некооперативної) рухливості гнучких сегментів (ГС) у склоподібному стані, найбільш інтенсивний (з максимумом при $T_{\alpha 1} = 223$ К) – до кооперативної рухливості сегментів при склуванні ГС, і високотемпературний максимум при $T_{MWS} = 252$ К – до діелектричної поляризації Максвелла-Вагнера-Сілларса у міжфазному шарі (МС) на міжфазній границі ГС/ЖС. На кривих умовної частини (ϵ'') комплексної діелектричної проникності можна було виділити широкий низькотемпературний процес, пов'язаний із перекриванням двох β -релаксацій, і високотемпературний α -процес; міжфазна діелектрична поляризація проявлялась у різкому зростанні ϵ'' при підвищенні температури і зниженні частоти. Як і можна було очікувати, діелектрична сила α - і β -релаксацій і інтенсивність максимуму T_{MWS} зростали, а спектри відповідних часів релаксації звужувались симбатно глибини фазового розподілу.

На основі аналізу фазової морфології і глибини фазового розділення за даними SAXS і теплофізичних вимірювань зроблено обґрунтоване уявлення про існування в полімерних системах з внутрішньо- та міжмолекулярною хімічною неоднорідністю ієрархії морфологічних наноструктур, відносний вміст, характеристичні лінійні розміри та термодинамічні властивості яких визначаються хімічною природою компонентів.

Список посилань

1. Privalko V.P., Shapoval R.L., Privalko E.G., Akhranovich E.R., Savelyev Yu.V., Pissis P., Georgoussis G. Influence of chain extenders and chain end-groups on properties of segmented polyurethanes. Steric immobilization effect // Доповіді НАН України. – 1997, №10. – С.153-156.

Синтез структур автоматичних затискних механізмів з розширеними технологічними можливостями

Придальний Борис ^[0000-0001-8565-5986]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
b.prydalnyi@lutsk-ntu.com.ua

Анотація. Автоматичні затискні механізми, які використовуються в металообробних верстатах для утримання заготовок та інструментів у шпindelних вузлах верстатів, визначають можливість використання потенціалу верстата до підвищення режимів різання. Проведені дослідження спрямовані на розробку нових підходів до створення автоматичних механізмів затиску з можливістю забезпечення якісно нових та необхідних характеристик їх функціонування. Формування нових характеристик досягається шляхом впровадження відповідних змін на рівні структури об'єкта. Отримані результати забезпечують кращі можливості розробки структур автоматичних механізмів затиску за рахунок покращення систематизації огляду збільшеної кількості альтернативних варіантів їх структурних елементів. Це досягнуто шляхом рішення проблеми формального опису та можливості представлення структурних елементів, що функціонують на основі різних фізичних ефектів, в межах однієї предметної області матриці систематизації. Отримані результати забезпечують також підсилення евристичного потенціалу у конструванні.

Ключові слова: привод затиску, силовий потік, зусилля затиску, структура механізму, генетична інформація.

Потенційні можливості для підвищення продуктивності та якості обробки в значній мірі визначаються автоматичні механізми затиску заготовок і циліндричних інструментів у шпindelних вузлах металообробних верстатів [1]. Шпindelний вузол верстата (ШВ) містить у своєму складі автоматичний затискний механізм (ЗМ), який впливає на роботу ШВ. Для підвищення продуктивності та якості обробки за рахунок збільшення швидкості різання необхідно збільшити максимальну швидкість шпindеля і, як наслідок, покращити динамічні характеристики шпindеля. Величина силової взаємодії заготовки та інструменту зростає із збільшенням товщини шару матеріалу, що знімається із заготовки інструментом за один прохід. Це, у свою чергу, вимагає збільшення сил затиску заготовки або інструменту. Існуючі типи автоматичних механізмів затиску мають ряд недоліків рішення

яких відкриває можливості для підвищення ефективності обробки на сучасних металообробних верстатах.

Одним з найбільш прогресивних методів пошуку та розробки нових структур та схем технічних систем забезпечує еволюційний підхід [2], що передбачає використання генетичної інформації [3, 4]. Він полягає у збереженні інформації попередніх етапів розвитку (покоління) з її доповненням на наступних етапах розвитку. Це дає можливість створити класифікацію базових структур (рис. 1), що охоплює всю можливу їх різноманітність.

№	Нових.	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
№вх.	Вих. Вх.	$Fa \rightarrow$	$Fr_f \uparrow$	$Fr_p \downarrow$	$Ta \curvearrowright$	$P_l \downarrow\downarrow\downarrow$	$Ce \curvearrowright \emptyset$	$M_f \uparrow\uparrow\uparrow$
1.1	$Fa \rightarrow$	1.1–2.1	1.1–2.2	1.1–2.3	1.1–2.4	1.1–2.5	1.1–2.6	1.1–2.7
1.2	$Fr_f \uparrow$	1.2–2.1	1.2–2.2	1.2–2.3	1.2–2.4	1.2–2.5	1.2–2.6	1.2–2.7
1.3	$Fr_p \downarrow$	1.3–2.1	1.3–2.2	1.3–2.3	1.3–2.4	1.3–2.5	1.3–2.6	1.3–2.7
1.4	$Ta \curvearrowright$	1.4–2.1	1.4–2.2	1.4–2.3	1.4–2.4	1.4–2.5	1.4–2.6	1.4–2.7
1.5	$P_l \downarrow\downarrow\downarrow$	1.5–2.1	1.5–2.2	1.5–2.3	1.5–2.4	1.5–2.5	1.5–2.6	1.5–2.7
1.6	$Ce \curvearrowright \emptyset$	1.6–2.1	1.6–2.2	1.6–2.3	1.6–2.4	1.6–2.5	1.6–2.6	1.6–2.7
1.7	$M_f \uparrow\uparrow\uparrow$	1.7–2.1	1.7–2.2	1.7–2.3	1.7–2.4	1.7–2.5	1.7–2.6	1.7–2.7

Рис. 1. Фрагмент матриці систематизованого представлення структурних елементів механізмів затиску

В представленій систематизації (рис. 1) прийняті умовні позначення характеристик входів та виходів структурних елементів, що забезпечуються певними фізичними ефектами. Зокрема виконані наступні позначення: Fa – force axial, Fr_f – force radial centrifugal, Fr_p – force radial centripetal, Ta – torque axial, P_l – pressure of liquid, Ce – current electrical, M_f – magnetic field. Характеристики представлених в систематизації величин можуть відображатися з різним ступенем деталізації відповідно до задач певного етапу конструювання. Наприклад, спосіб впливу магнітного поля M_f можна додатково розрізняти за спрямуванням – M_{fA} і M_{fT} відповідно осьове і тангенціальне (циркуляція по колу). Також, можливий уточнений опис виду електричного струму (Ce_A та Ce_D відповідно змінний та постійний струм) та спрямування тиску між плунжером та робочою рідиною гідравлічної системи (P_{IR} та P_{IA} відповідно радіальний та осьовий напрямки).

Систематизація структурних елементів ЗМ базується на їх представленні у вигляді причинно-наслідкових зв'язків між характеристиками їх входів та виходів (рис. 1). Головні характеристики входів та виходів структурних елементів, що визначають їх функціональне

призначення можуть бути реалізовані декількома фізичними ефектами. Представлення в межах однієї систематики різних за принципами функціонування структурних елементів розширює евристичні можливості для розробки нових структур автоматичних механізмів затиску. Матриця систематики надає конструктору можливості більш повного та систематичного розгляду збільшеного масиву альтернативних варіантів структурних елементів де їх функції забезпечуються певним фізичним ефектом. На основі запропонованої систематики можна провести формальний запис структур існуючих автоматичних механізмів затиску в тому числі з метою розробки покращених аналогів шляхом застосування альтернативних структурних елементів, що забезпечують необхідні функції та володіють покращеними характеристиками.

На стадії пошуку елементів для структур автоматичних механізмів затиску будь які кількісні розрахунки мають приблизний, оціночний характер. Опис структури автоматичних механізмів затиску утворюється послідовністю описів кожного з структурних елементів у вигляді кодів, що відповідають характеристикам входів та виходів кожного структурного елемента відповідно до прийнятої матриці систематизації.

В результаті досліджень запропоновано нові підходи, що сприяють побудові структур та схем механізмів автоматичного затиску з прогнозовано кращими характеристиками функціонування та розширеним спектром технологічних можливостей. Це досягнуто за рахунок підвищення ефективності огляду та відбору структурних елементів механізмів із збільшеної кількості альтернативних варіантів, що також сприяє підвищенню евристичного потенціалу процесу розробки.

Список посилань

1. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів: монографія / Під заг. ред. д.т.н., проф. Ю.М. Кузнецова. Луцьк: Вежа-Друк 2016. – 352 с.
2. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Теорія технічних систем в аспектах досліджень та технічної творчості: підручник. Луцьк: Вежа-Друк, 2023.-284с.
3. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
4. Кузнецов Ю.М., Ель-Дахабі Ф.В., Хамуйела Ж.А. Герра Структурно-схемний синтез затискних патронів з використанням універсальних генетичних операторів // Науч. Журнал “Fundamentalis scientiam” (Фундаментальна наука), №12 (12), Іспанія, 2017.с.43-49.

Визначення механічних властивостей твердих розчинів боридів $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$ методом віртуального кристалічного наближення

Присяжнюк Павло ^[0000-0002-8325-3745], Молчанов Андрій ^[0009-0008-2210-0834]

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна
pavlo1752010@gmail.com

Анотація. Шляхом моделювання із використанням ab initio коду CASTEP та із застосуванням методу віртуального кристалічного наближення було визначено пружні константи та пов'язані із ними механічні характеристики (модулі пружності та твердість за Вікерсом (HV)) для твердих розчинів на основі тетрагональної боридної фази $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$. Встановлено, що концентраційні залежності модулів G та B описуються кривими із мінімумами, що відповідають еквіатомному вмісту Cr та Fe у боридній фазі. Найвище розраховане значення твердості (HV=34 ГПа) припадає на твердий розчин $Fe_{0,8}Cr_{0,2}(Mo, B)_2$, який водночас є пластичною фазою за критерієм B/G . Такі тверді розчини можуть бути використані під час розроблення систем легування матеріалів для нанесення зносотривких покриттів із використанням технологій наплавлення для експлуатації за умов інтенсивного абразивного (ударно-абразивного) зношування.

Ключові слова: віртуальне кристалічне наближення, модулі пружності, твердість за Вікерсом, зносотривкість, надтверді матеріали.

1. Вступ

Важливими характеристиками боридів перехідних металів є високі значення мікротвердості та температури плавлення це, поряд із високою хімічною стійкістю робить їх перспективними матеріалами для застосування як компонентів матеріалів для нанесення зносотривких покриттів методом наплавлення. Перспективними боридними фазами є, зокрема складні бориди Mo із тетрагональною структурою (просторова група $P4/mbm$) формульного складу $Me(Mo, B)_2$, де $Me - Fe, Cr, Mn$ [1]. Подвійний борид $Fe(Mo, B)_2$ при застосуванні як компонент порошкових сумішей для наплавлення забезпечує високу твердість (понад 9 ГПа) та абразивну зносотривкість покриттів [2, 3] та монолітних матеріалів [4], [5]. Особливістю даної сполуки є здатність утворювати тверді розчини заміщення, які відповідно до моделі CEF (Compound Energy Formalism) [6] будуть мати формульний склад $(Fe, Me)(Mo, B)_2$. Виходячи із цього важливою із

практичної точки зору є оцінка механічних характеристик таких твердих розчинів із метою вибору оптимальних концентраційних діапазонів вмісту *Me*. Вона може бути проведена шляхом розрахунку властивостей модельних кристалічних структур, які імітують неупорядковані тверді розчини. Таке моделювання може бути проведено із використанням методу віртуальної кристалічної апроксимації (*VCA*) [7], який задовільно описує коцентраційні залежності пружних констант твердих розчинів, як це було здійснено на прикладі високоентропійних сплавів у роботі [8]. Враховуючи, що одним із найбільш поширених легуючих елементів у наплавлених покриттях є *Cr*, то у даній роботі досліджувався його вплив на властивості твердих розчинів (*Fe,Cr*) (*Mo,B*)₂ з метою вибору оптимальних концентраційних діапазонів легування сплавів для наплавлення системи *Fe–Mo–Cr–B–C*.

2. Методика досліджень

Моделювання за методом проводилось із використанням першопринципного (*ab initio*) коду *CASTEP* 20.11. Для розрахунку було використано псевдопотенціали *QC5* та обмінно-кореляційний функціонал *PBE* [9], а енергія відсікання становила 272 еВ, що відповідає рівню точності «*FINE*» для поляризованих спінів. Оптимізація геометрії вважалась завершеною за різниці енергії на двох послідовних ітераціях $< 1 \times 10^{-5}$ еВ, сил, що діють на атом $< 0,03$ еВ/Å та напруження $< 0,05$ ГПа. Пружні константи було визначено на основі розрахованого тензора напружень для деформацій ґратки із амплітудою 0,003 Å. Аналіз тензора напружень для визначення модулів пружності проводився із використанням програми *Elate* [10]. Неупорядковані тверді розчини моделювали із використанням методу віртуального кристалічного наближення *VCA* [7] (*Virtual Crystal Approximation*), за якого опис взаємодії електронів із ядром описується через усереднені значення псевдопотенціалів відповідно до частки кожного із компонентів. Як модельну структуру було вибрано тетрагональну ґратку (просторова група *P4/mbm*) (Fig. 1) де у позиціях *2a*: (0, 0, 0) та (0.5, 0.5, 0) містились різні частки *Fe* та *Cr*, відповідно до методики *VCA*.

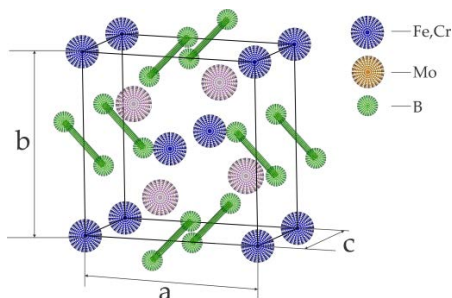


Рис. 1. Схема модельної кристалічної структури твердих розчинів (*Fe, Cr*)(*Mo, B*)₂

Як основний критерій для аналізу можливості використання даних твердих розчинів у покриттях для наплавлення було вибрано розраховану, твердість за Вікерсом, яку було визначено на основі пружних констант відповідно до методики, запропонованої у роботі [11]:

$$HV = 0.92k^{1.137}G^{0.708}, \quad (11)$$

де G – модуль зсуву, ГПа; k – критерій П'ю [12] ($k = G/B$ (B – модуль всебічного стиску, ГПа)). Значення G та B було розраховано за усередненою схемою Фойгта-Ройса-Хілла [13] відповідно до рівнянь:

$$G = \left(\frac{G_R + G_v}{2}\right) \text{ та } B = \left(\frac{B_R + B_v}{2}\right), \quad (2)$$

де значення G_R , G_v , B_R та B_v було визначено відповідно до значень компонентів розрахованого пружного тензора за рівняннями :

$$G_R = 150.92k^{1.137}G^{0.708}, \quad (3)$$

$$B_R = 1/[(S_{11} + S_{22} + S_{33}) + 2(S_{12} + S_{13} + S_{23})], \quad (4)$$

$$B_v = \frac{1}{9}[(C_{11} + C_{22} + C_{33}) + 2(C_{12} + C_{13} + C_{23})], \quad (5)$$

$$G_R = 15/ \left[\frac{4(S_{11} + S_{22} + S_{33}) - 4(S_{12} + S_{13} + S_{23})}{+3(S_{44} + S_{55} + S_{66})} \right], \quad (6)$$

$$G_v = \frac{1}{15} \left[\frac{(C_{11} + C_{22} + C_{33}) - (C_{11} - C_{22} - C_{33})}{+3(C_{44} + C_{55} + C_{66})} \right]. \quad (7)$$

3. Результати та їх обговорення

Результати розрахунку модулів пружності G та B залежно від складу твердих розчинів (рис. 2, *a*) показує, що збільшення вмісту Cr у складі невпорядкованого твердого розчину $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$ призводить до їх нелінійної зміни. Так, у діапазоні концентрацій від 0 до 40 ат. % має місце зниження значень обох модулів G та B на ~ 50 та 100 ГПа, відповідно. Далі спостерігається зростання та досягнення максимальних значень ~ 200 та ~ 300 ГПа, відповідно для G та B та подальше незначне зниження для чистого $Cr(Mo, B)_2$. Разом з цим для розрахованої твердості спостерігається дещо інша тенденція: на концентраційній залежності твердості спостерігаються два максимуми ~ 34 ГПа та ~ 29 ГПа, які припадають на концентрації 20 % та 60 % Cr , розчиненого у $Fe(Mo, B)_2$, причому водночас дані тверді розчини характеризуються вищим рівнем пластичності за значенням критерію k , хоча усі розглянуті тверді розчини відносяться за даним критерієм до пластичних матеріалів ($k > 0.57$).

Детальний аналіз просторового розподілу пружних характеристик (рис. 2) показує, що по мірі збільшення вмісту Cr у модельному твердому розчині спостерігається тенденція до прояву анізотропії модуля Юнга, яка проявляється у переході його просторового розподілу від кубічної до сферичної симетрії. Разом з цим для усіх випадків спостерігаються підвищені значення вздовж осі z , тоді як вздовж осей x та y значення модуля Юнга є порівняно нижчими.

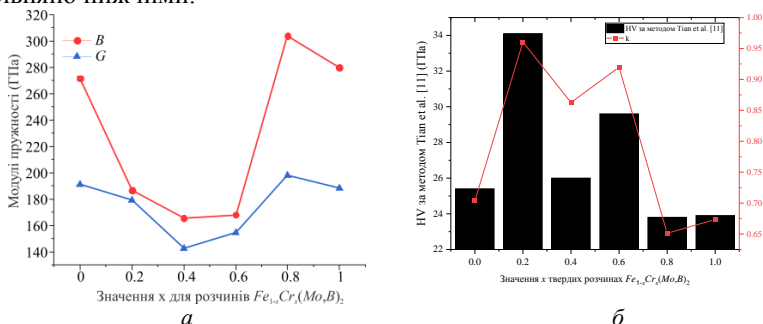


Рис. 2. Концентраційні залежності розрахованих механічних властивостей модельних твердих розчинів $Fe_{1-x}Cr_x(Mo,B)_2$: а – модулі G та B ; б – твердість HV та критерій Puk .

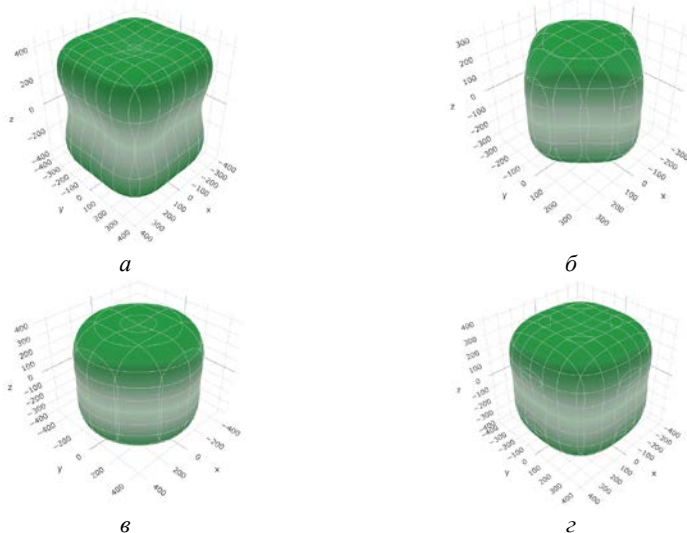


Рис. 3. Просторовий розподіл значень модуля Юнга для моделей чистих сполук та невпорядкованих твердих розчинів на їх основі, отриманих методом VCA : а – $Fe_{1-x}Cr_x(Mo,B)_2$

4. Висновки

Таким чином, за результатами проведених розрахунків із використанням ab

initio коду *CASTEP* видно, що найбільш оптимальна концентрація розчиненого *Cr* у боридній фазі $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$ за умови формування обмежених твердих розчинів припадає на діапазон від 0 до 20 мас. %. За такого вмісту спостерігається помітне зростання розрахованої твердості, яке не супроводжується суттєвим зниженням значень решти пружних констант. Такий твердий розчин за умов його формування із сталевого розплаву у вигляді рівномірно розподілених включень може ефективно виконувати роль армівної фази у покриттях, нанесених методом наплавлення.

У подальших дослідженнях слід провести термодинамічний аналіз багатокомпонентної системи Fe-Mo-Cr-B-C з позиції визначення стабільності твердих розчинів $Fe_{1-x}Cr_x(Mo, B)_2$ у сталевих розплавах для уточнення вибору системи легування сплавів для наплавлення.

Список посилань

1. Materials Project [Electronic resource]. URL: <https://materialsproject.org/> (accessed: 19.01.2022).
2. Sun Y. et al. Effect of TiC on Microstructure and Properties of Wear-Resistant Mo₂FeB₂ Claddings // Materials. 2022. Vol. 15, № 13.
3. Zhang H. et al. Microstructure, toughness, and tribological properties of laser clad Mo₂FeB₂-based composite coating with in situ synthesized WC and La₂O₃ addition // Surf. Coat. Technol. 2022. Vol. 449. P. 128947.
4. Xu H. et al. Comparison of Structure and Properties of Mo₂FeB₂-Based Cermets Prepared by Welding Metallurgy and Vacuum Sintering // Materials. MDPI AG, 2020. Vol. 14, № 1. P. 46.
5. Yu H. et al. Effect of Mn content on the microstructure and mechanical properties of Mo₂FeB₂ based cermets // Int. J. Refract. Met. Hard Mater. Elsevier, 2010. Vol. 28, № 2. P. 286-290.
6. Hillert M. The compound energy formalism // J. Alloys Compd. Elsevier BV, 2001. Vol. 320, № 2. P. 161-176.
7. Bellaiche L., Vanderbilt D. Virtual crystal approximation revisited: Application to dielectric and piezoelectric properties of perovskites // Phys. Rev. B. American Physical Society (APS), 2000. Vol. 61, № 12. P. 7877-7882.
8. Wang S. et al. Comparison of two calculation models for high entropy alloys: Virtual crystal approximation and special quasi-random structure // Mater. Lett. 2021. Vol. 282. P. 128754.
9. Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M. Generalized Gradient Approximation Made Simple // Phys Rev Lett. American Physical Society, 1996. Vol. 77, № 18. P. 3865-3868.
10. Gaillac R., Pullumbi P., Coudert F.-X. ELATE: an open-source online application for analysis and visualization of elastic tensors // J. Phys. Condens. Matter. IOP Publishing, 2016. Vol. 28, № 27. P. 275201.
11. Tian Y., Xu B., Zhao Z. Microscopic theory of hardness and design of novel superhard crystals // Int. J. Refract. Met. Hard Mater. 2012. Vol. 33. P. 93-106.
12. Pugh S.F. XCVI. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals // Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci. Informa UK Limited, 1954. Vol. 45, № 367. P. 823-843.
13. Hill R. The Elastic Behaviour of a Crystalline Aggregate // Proc. Phys. Soc. A. 1952. Vol. 65, № 5. P. 349-354.

Підвищення надійності зубчастих передач

Пуць Віталій^[0000-0003-3164-6173], Муравинець Юлія^[0000-0001-9171-3847],
Клименко Олександр^{2[0000-0002-0959-7144]}

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
vitaliy.puts@lntu.edu.ua

Анотація. Розглянуто основні операції фінішної обробки зубчастих коліс, намічені напрямки вдосконалення методів формування поверхневого шару матеріалу з необхідними властивостями. Проведений аналіз типових технологічних процесів виготовлення сталевих зубчастих коліс силових передач свідчить, що запроваджені в них операції, будучи в основному зорієтованими на формування геометрії зубчастого вінця і профілю зубів, тобто забезпеченні геометричної точності, малоєфективні і малокеровані стосовно забезпечення якості матеріалу і таких її показників як структура, залишкові напруження, твердість та мікротвердість поверхневих шарів, а також, пластичності матеріалу серцевини зубів. Передбачені для цього термічні і хіміко-термічні зміцнювальні операції теж недостатньо ефективні, бо підвищуючи твердість матеріалу для покращення опору зношуванню зменшують пластичність серцевини, а отже не протистоять втомному викришуванню і зламу.

Ключові слова: зубчасті колеса, надійність, метод обробки.

Актуальним завданням машино- і приладобудування є забезпечення міцності, надійності та довговічності як елементів механізмів в цілому, так і їх складових деталей при мінімальних матеріаломісткості і затратах на виготовлення. У переважній більшості агрегатів і машин забезпечення точності передачі кінематичних рухів та обертових моментів покладено на різноманітні зубчасті зачеплення, основною ланкою яких є зубчасте колесо.

Руйнування деталей машин починається з їх поверхневих шарів, властивості яких формує технологія оброблювання, що являє собою сукупність операцій, взаємозв'язаних і взаємозалежних між собою. Саме на цьому етапі і, в основному, на етапі фінішної обробки, формується надійність зубчастих передач. Без сумніву, умови експлуатації мають вагомий вплив на якість робочих поверхонь деталей, як правило, погіршуючи їх, однак, основа показників якості стану матеріалу поверхонь закладається технологією виготовлення.

Стосовно зубчастих коліс якість поверхневих шарів обумовлюється сукупністю характеристик:

– точністю розміщення поверхонь відносно базових;

- макрогеометрією та хвилястістю поверхонь і їх шорсткістю;
- структурою поверхневих шарів і серцевини;
- напруженим станом матеріалу.

Відхилення хоч би однієї з характеристик, які обумовлюють якість поверхневого шару матеріалу зубчастого колеса, від заданих параметрів приводить до зміни його довговічності та надійності.

Метою роботи є аналіз існуючих методів обробки зубчастих коліс і виявлення основних напрямків їх вдосконалення з позиції їх надійності. На етапі виготовлення зубчастих коліс формуються необхідні показники надійності, регламентуються забезпеченням параметрів точності виготовлення складових елементів колеса (маточини, зубчастого вінця тощо), і безпосередньо геометричної форми зубів та технологічним забезпеченням параметрів якості поверхонь зубів, їх матеріалу та структури.

При цьому, якщо для кінематичних зубчастих передач визначальною є геометрична точність коліс і їх зубів, для зубчастих коліс силових передач – якість і структура матеріалу як поверхневих шарів, так і серцевини зуба набуває першочергового значення, що підтверджується багатьма дослідженнями.

Точність виготовлення зубчастих коліс, в тому числі і силових передач, регламентується наперед встановленою точністю безпосередньо самої передачі, до якої належить цілий комплекс показників (показник кінематичної точності, так звана кінематична похибка, накопичена похибка кроку, радіальне биття тощо). Ступінь точності тої чи іншої передачі, забезпечувана цією точністю надійність регламентовані стандартом і технологічною задачею є її неодмінне забезпечення, оскільки, в протилежному випадку, виготовлені деталі передачі, в тому числі і зубчасті колеса, є бракованими. Для силових коліс має місце інша ситуація щодо якісного стану їх матеріалу.

Аналіз операцій типових технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс силових передач та експлуатаційних пошкоджень їх зубів дає підставу для наступних висновків:

1. За грамотного підбору матеріалів та методик розрахунків передачі при дотриманні обумовлених умов експлуатації надійність та довговічність зубчастої передачі регламентується технологією виготовлення зубчастих коліс.

2. Використовувані у технологічних процесах виготовлення зубчастих коліс силових передач оздоблювально-викінчувальні операції в основному зорієнтовані на підвищення точності і малоефективні у забезпеченні належних фізико-механічних властивостей матеріалу поверхонь зубів.

3. Наявні в сучасному арсеналі зміцнювальні технології поверхневим пластичним деформуванням, що покликані покращити якість поверхневих шарів матеріалу, переважно через недостатню енергію деформування або, як карбування, незначну продуктивність – недосконалі.

Це дозволяє окреслити основні напрямки вдосконалення технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс силових передач з метою підвищення їх експлуатаційної надійності та довговічності. А саме:

1. Розширення технологічних можливостей методів холодного і гарячого деформівного прокатування в напрямку забезпечення якісного формоутворення зубів зубчастих коліс середнього і крупного модулів.

2. Підвищення якості зубофрезерувальних та зубошліфувальних операцій для забезпечення належної геометричної точності поверхонь зубів в поєднанні із застосуванням зміцнювальної операції, покликаної надати поверхневим шарам матеріалу необхідних фізико-механічних властивостей.

Перший напрямок, окрім ґрунтовних фундаментальних досліджень, потребує для втілення вартісного енергомісткого устаткування і перспектива його широкого промислового запровадження - справа майбутнього.

Складності у промисловому застосуванні другого напрямку вдосконалення технології виготовлення зубчастих коліс обумовлені, в першу чергу, відсутністю на сьогоднішній день високопродуктивних і ефективних зміцнювальних технологічних операцій.

Вказаних недоліків не має вібраційно-відцентрове зміцнення зубчастих коліс.

Метод належить до групи динамічних методів поверхневого пластичного деформування, однак відрізняється від їх різновидів вищою енергією деформування матеріалу в поєднанні із значною продуктивністю.

Список посилань

1. Афтаназів І.С., Гавриш А.П., Киричок П.О., Мельничук П.П., Попов Є.С., Третько В.В. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.
2. Афтаназів І.С., Клименко О.Д. Підвищення надійності зубчастих коліс вібраційно-відцентровим зміцнювальним оброблюванням //Вісник НТУУ “Київський політехнічний інститут”, Машиностроение, 2002, №43. – с. 74-77.

Особливості наводнювання низьковуглецевої сталі у корозивних середовищах за присутності CO₂ і H₂S

Рацька Надія, Івашків Василь, Чучман Мар'ян, Василів Христина

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова 5, Львів, 79060, Україна
nadija.ratska@gmail.com

Анотація. Досліджено вплив концентрації сірководню і вуглекислого газу у хлориднооцетатному розчині на наводнювання мембрани зі сталі 20. Отримано кількісну оцінку впливу сірководню різної концентрації у електроліті на вміст водню в поверхневих шарах і його дифузію в сталь. Проникність водню через мембрану визначали електрохімічним методом, застосовуючи спеціальну двокамерну електрохімічну комірку Деванатана-Стахурського. Результати випробувань показали, що з підвищенням вмісту сірководню від 100 до 1000 мг/л концентрація водню в поверхневих шарах мембрани зростає у ~2,5 рази. Коефіцієнт ефективної дифузії водню не залежить від концентрації сірководню у середовищі і становить $\sim 2,09 \cdot 10^{-8}$ см²/с, що обумовлено ідентичністю механізму наводнювання сталі. Встановлено, що за зростання вмісту сірководню у розчині струми проникнення водню збільшуються внаслідок інтенсифікації сірководневої корозії на поверхні сталі. Часові залежності зміни струму проникнення водню через мембрану із низьковуглецевої сталі у розчинах із сірководнем відтворюються кривими, на яких видно чотири ділянки: стабілізація струму, його ріст, плато і спад. За відсутності сірководню у корозивному середовищі наводнювання сталі не спостерігається.

Ключові слова: водень, коефіцієнт ефективної дифузії водню, сталь.

1. Вступ

Серед багатьох видів корозійного руйнування конструкційних сталей нафтогазовидобувної і переробної галузей промисловості особливе місце посідає сірководневе корозійне розтріскування, що призводить до втрати обладнання без значних видимих корозійних пошкоджень. Причиною цих пошкоджень є окрихчення металу обладнання, а механізм таких руйнувань залежить від ефективності наводнювання сталі [1]. Щоб оцінити опірність сталей до сірководневого розтріскування важливі дослідження, які спрямовані на вивчення дифузійних властивостей водню. Тому метою роботи було дослідити вплив концентрації сірководню на ефективність наводнювання конструкційної сталі у корозивному середовищі.

2. Матеріал і методика

Проникнення водню через мембрану визначали електрохімічним методом, застосовуючи спеціальну електрохімічну комірку Деванатана-Стахурського, яка має катодну і анодну камери, в анодній розташовані допоміжний електрод (СЕ) і електрод порівняння (RE) (див. рис. 1). Робочий електрод (WE) виготовляли із сталі 20, товщиною 0,04 см у формі круга з експонованою площею 15 см². Анодну частину комірки заповнювали 0,2 М розчином КОН + 0,1 N Na₂MoO₄, а катодну – 5% водним розчином NaCl+0,5% CH₃COOH. Розчин барботували сумішшю вуглекислого газу з сірководнем із співвідношенням, яке підтримувало вміст H₂S у розчині 100 і 1000 мг/л. Реєстрували анодний струм сталі за допомогою потенціостата IPC-PRO.

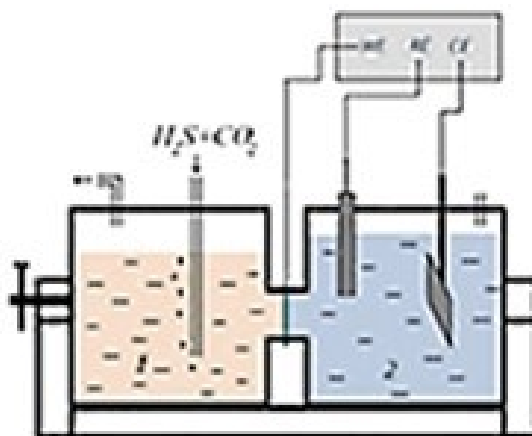


Рис. 1. Схематичне зображення комірки Деванатана-Стахурського для визначення ефективності наводнювання: 1 – катодна камера; 2 – анодна

Концентрацію водню (C_{or} , моль/см³) в поверхневому шарі сталі розраховували за формулою [1], яка має вигляд

$$C_{or} = \frac{J_{as} L}{D_{eff}} = \frac{I_{as} L}{F A D_{eff}}, \quad (1)$$

де J_{as} – потік проникнення водню в поверхневому шарі кристалічної ґратки на окисненій стороні зразка за стаціонарного режиму, моль/(см²·с); I_{as} – сила струму за стаціонарного режиму проникнення водню, мА; A – площа зразка, см²; F – стала Фарадея, Кл/моль; D_{eff} – ефективний коефіцієнт дифузії

водню, $\text{см}^2/\text{с}$; L – товщина зразка, см .

Із часових залежностей зростання і стабілізації значень потоку проникнення водню на вихідній поверхні мембрани визначали ефективний коефіцієнт дифузії водню за формулою

$$D_{eff} = \frac{L^2}{6\tau_{lag}}, \quad (2)$$

де τ_{lag} – час, необхідний для досягнення умови $\frac{J(\tau)}{J_{as}} = 0,63$, с.

3. Результати та їх обговорення

На рис. 2 показано часові залежності зміни анодного струму проникнення водню, що дифундував через мембрану зі сталі 20 у розчинах із концентрацією сірководню 0, 100 і 1000 мг/л. На ділянках кривих до 4000 с відбувається стабілізація фоновому струму, який витрачається на пасивацію сталеві мембрани. Після заповнення катодної камери корозивним розчином, анодний струм зростає і в інтервалі з 12000 до 14000 с досягає плато, що свідчить про завершення перехідних процесів наводнювання сталі та дифузії водню. Зниження струму проникнення водню за тривалості понад 14000 с пов'язано із виливанням корозивного розчину з камери. Виявили, що спад струму окислення водню на порядок швидший, ніж його ріст. Струм проникнення водню у розчині із концентрацією сірководню 1000 мг/л на ділянці кривої (плато) є у $\sim 2,5$ рази більший, ніж у електроліті із вмістом H_2S 100 мг/л. За відсутності сірководню у розчині наводнювання сталі не спостерігається (див. рис. 2).

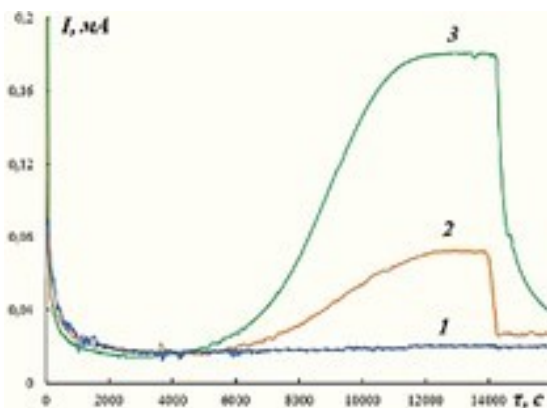


Рис. 2. Часові залежності зміни струму проникнення водню за концентрацій H_2S у розчині, мг/л: 1 – 0, 2 – 100, 3 – 1000.

Збільшення вмісту сірководню від 100 до 1000 мг/л у розчині сприяє зростанню концентрації водню у поверхневих шарах у 2,5 рази (див. табл.). Ефективний коефіцієнт дифузії водню у обох сірководневих середовищах практично однаковий, що обумовлено ідентичністю механізму наводнювання сталі.

Таблиця. Параметри проникнення водню в сталь 20

$C(\text{H}_2\text{S})$, мг/л	τ_{lag} , с	$D_{eff} \cdot 10^8$, cm^2/s	C , ppm
100	7200	2,08	22
1000	7100	2,11	54

4. Висновки

Встановлено, що у хлоридноацетатному розчині із вуглекислим газом без сірководню наводнювання сталі 20 не спостерігається. У розчинах із концентрацією сірководню 100 і 1000 мг/л механізм наводнювання сталі схожий, концентрація водню в поверхневих шарах становить, відповідно, 22 і 54 ppm, а коефіцієнт дифузії водню суттєво не змінюється.

Список посилань

1. ISO 17081:2004. Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique. – 2004. – 16 p.

Проблема розробки маловідходних технологій виготовлення затискних цанг для верстатів високопродуктивної обробки

Редько Назарій, Редько Ростислав ^[0000-0001-5066-0224]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
redkorg@ukr.net

Анотація. У верстатах високопродуктивної обробки, зокрема в багатшпиндельних токарних автоматах, часто застосовують цангові затискні механізми. Одним із основних елементів, що входять до складу цангових затискних механізмів, і від якості виготовлення якого залежить якість і собівартість отриманих деталей, є затискна цанга. Сучасні методи проектування не повною мірою враховують вплив факторів процесу затиску, а технології виготовлення затискних цанг є трудомісткими, тобто залучають величезну кількість обладнання, і не є економічними. При сучасних вимогах економії матеріалів та ресурсозбереження гостро ставиться проблема розробки маловідходних технологій виготовлення затискних цанг, які дозволяли б виготовляти цанги з мінімальними витратами. Стабілізація характеристик затискних цанг сприяє максимальному використанню резервів затискного механізму з точки зору підвищення продуктивності і точності обробки, економії енергії і матеріалів. Негативно впливає на міцність затискних цанг, а також на їх довговічність, наявність в зонах розрізки пелюсток, зокрема на початку і в кінці губки, концентраторів напружень, в яких при багатоциклового навантаженні зароджуються і розвиваються тріщини, що ведуть до поломки цанг. Останні виходять з ладу і при недотриманні режимів термообробки. Тому міцність на втому можна підвищити, знешкодивши вплив цих негативних факторів.

Ключова слова: затискна цанга, пелюстки цанг, цанговий затискний механізм, маловідходні технології, багатшпиндельні токарні автомати.

Цанговий затискний механізм (ЦЗМ) відомий достатньо давно. Закріплення заготовок за допомогою цанг виявилось дуже зручним при створенні автоматизованих верстатів тому, що для цього необхідно зробити тільки один поступальний рух. В сучасному верстатобудуванні цанговий затискний механізм найбільш поширений на верстатах високопродуктивної обробки, зокрема на токарно-револьверних верстатах та токарних автоматах.

Одним із основних елементів, що входять до складу ЦЗМ, і від якості виготовлення якого залежить якість і собівартість отриманих деталей, є затискна цанга (ЗЦ).

Сучасні методи проектування не повною мірою враховують вплив факторів процесу затиску, а технології виготовлення ЗЦ є трудомісткими, тобто залучають величезну кількість обладнання, і не є економічними. При сучасних вимогах економії матеріалів та ресурсозбереження гостро ставиться проблема розробки маловідходних технологій виготовлення ЗЦ, які дозволяли б виготовляти цанги з мінімальними витратами [1, 2].

Вимоги, які ставляться до ЗЦ, виходять із вимог до затискних механізмів [3, 6]. В процесі роботи затискного механізму на цангу діють різноманітні зусилля. При закріпленні заготовок осьова сила затиску досягає 60 кН [6], а якщо заготовка має велике відхилення (1 мм і більше) від номінального розміру по діаметру, в пелюстку ЗЦ утворюється подвійний вигин, що приводить до виникнення суттєвих напружень. Тому при розрахунках обов'язково враховують умову міцності на розтяг-стиск і на згин.

Негативно впливає на міцність ЗЦ, а також на їх довговічність, наявність в зонах розрізки пелюсток, зокрема на початку і в кінці губки, концентраторів напружень, в яких при багатоциклового навантаженні зароджуються і розвиваються тріщини, що ведуть до поломки цанг. Останні виходять з ладу і при недотриманні режимів термообробки [1, 2, 6]. Тому міцність на втому можна підвищити, знешкодивши вплив цих негативних факторів.

Для того, щоб після кожного циклу затиску-розтиску заготовок не доводилось примусово розводити пелюстки, цангам надають пружних властивостей. За допомогою спеціального пристосування пелюстки розводять на певну величину (величину розведення) і термофіксують. Але термофіксація – це друга термообробка, яка негативно впливає на геометричну точність цанги [6].

Основною причиною виходу із ладу ЗЦ є зношування робочого отвору і конічної поверхні губок [1, 6], тому цанга стає непридатною в той момент, коли радіальна сила затиску зменшується до такої граничної величини, яка навіть при максимальному осьовому зусиллі, створеному приводом і обмеженому умовами міцності, не виключає осьового проковзування або прокручування заготовки, яку обробляють.

Стійкість проти спрацювання підвищують армуванням поверхонь зносостійкими і твердосплавними матеріалами [3, 5, 6] підбором конструктивних параметрів, що забезпечують додатковий запас на зношування, і покращенням технології виготовлення ЗЦ [5, 6].

Жорсткість закріплення деталі залежить від кількох факторів; в найбільшій мірі – від величини бази закріплення, що характеризується коефіцієнтом защемлення β_j [3, 6].

Сила затиску, залежно від виду і конфігурації об'єкту, який закріплюють, визначається по різному. Наприклад, при затиску круглого прутка необхідне дотримання наступних умов: 1) сумарні осьові зусилля, що діють з боку різального інструменту, не повинні проштовхувати пруток; 2) сумарний момент від сил різання не повинен прокручувати його; 3) сумарні радіальні зусилля не повинні вирвати пруток. При затиску шестигранних або квадратних прутків дотримуються першої та третьої умов, а при закріпленні інструментів і штучних заготовок – другої і третьої [5, 6].

Точність ЗЦ визначається її здатністю зберігати положення деталі після затиску і оцінюється похибкою виготовлення цанги і похибкою закріплення. Осьова і радіальна точність підвищуються із збільшенням довжини і кількості пелюсток завдяки покращенню умов контактування цанги із шпинделем та заготовкою [1, 2, 6].

При затиску деталей та заготовок, що мають значні відхилення розмірів, елементи ЗЦ перенапружуються внаслідок подвійного вигинання пелюсток і збільшення осьового зусилля затиску [6]. Тому при закріпленні гарячекатаних прутків, де відхилення від номінального розміру становить 1-1,5 мм і більше, застосовують широкодіапазонні ЗЦ із одинарною або подвійною мультиплікаціями, а також ЗЦ із збільшеною довжиною пелюсток і зменшеною їх жорсткістю [4, 6].

ЗЦ, що мають високу швидкопереналаджованість, дають можливість швидко переходити від обробки деталей одного типорозміру до обробки деталей іншого типорозміру. Так, для того, щоб перейти від виробництва деталей із круглого прокату на шестигранний або іншої форми та розміру, необхідно тільки замінити ЗЦ із відповідною формою або розміром робочого отвору.

Стабілізація характеристик ЗЦ сприяє максимальному використанню резервів затискного механізму (ЗМ) з точки зору підвищення продуктивності і точності обробки, економії енергії і матеріалів [4-6].

Аналізуючи кругові діаграми відтискання [6], можна зробити висновок, що кругова жорсткість – величина змінна. Завдяки різній кількості і положенню затискних елементів по відношенню до лінії дії радіальної сили P_p (під кутом α_p) виникає змінна складова радіальних відтискань, які визвані крутною податливістю затискних елементів. Звідси – непостійна сумарна радіальна жорсткість, що призводить до вібрацій і збільшення сил тертя, які викликають нагрів в зоні затиску.

ЦЗМ відрізняються від інших ЗМ своєю компактністю в радіальному напрямку, тому що сам принцип затиску дозволяє за допомогою відносно невеликого за розмірами інструменту – ЗЦ, достатньо жорстко та міцно закріпити деталь. Це дало можливість створити багатошпиндельні токарні автомати, внаслідок чого продуктивність праці зросла в кілька разів. Тому ЗЦ – достатньо компактний інструмент для виконання різноманітних відповідальних функцій.

Для того, щоб не було довготривалих простоїв обладнання із-за поломок ЗЦ, а також для можливості швидкої заміни їх при зношенні, цанги повинні задовольняти умовам взаємозамінності, тобто конструкція і метод закріплення повинні дозволяти швидко замінити їх при створеній необхідності.

Список посилань

1. Редько Р.Г. Аналіз зношення губок затискних цанг багатошпindelьних токарних автоматів/Р.Г.Редько, Р.А.Склярів, Р.М.Полінкевич, Т.І.Четвержук, О.І.Редько // Наукові нотатки. – Випуск 71.– Луцьк, 2021. – С. 294-297.
2. Редько Р.Г. Дослідження та вдосконалення конструкції виконавчих вузлів багатошпindelьного токарного напівавтомату для обробки шестерень / Р.Г.Редько, П.М. Цюпа, Р.П. Приступа // Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Випуск 47. – Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. - С. 266-272.
3. Редько Р.Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями/Р.Г.Редько, О.І.Редько, В.В.Шанайда, Р.А.Склярів // Наукові нотатки. – Випуск 44.– Луцьк, 2014. – С. 249– 253.
4. Кузнецов Ю. М. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління : навч. посіб. для студентів машинобуд. спец. ВНЗ / Ю. М. Кузнецов, Б. І. Придальний ; за заг. ред. проф. Ю. М. Кузнецова ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк : Вежа-Друк, 2014. - 425 с.
5. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки на токарних верстатах / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин / під ред. Ю.М. Кузнецова . – К. – Тернопіль; Терно-граф, 2011. - 692 с.
6. Редько Ростислав Григорович. Підвищення працездатності затискних цанг токарних автоматів, виготовлених за маловідходною технологією: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Луцький держ. технічний ун-т. - Луцьк, 1999. - 233л. - Бібліогр.: л. 150-167.

Покращення режимів плазмової обробки шляхом аналізу продуктів згорання

Решетило Анатолій, Сичук Віктор ^[0000-0002-8267-0846]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
anatolii.reshelylo16@gmail.com

Анотація. Плазмова різка металів являє собою доволі продуктивним та ефективним методом роботи. Проте при недотриманні необхідних технологічних режимів забезпечення процесу обробки можуть виникати небажані явища такі як брак, неякісна обробка, підвищене використання витратних матеріалів (сопла, газ, електрична енергія). Тому для зниження ризиків здійснення неякісної та неефективної роботи пропонується постійно контролювати за найоптимальнішими режимами роботи плазмового обладнання шляхом постійного аналізу продуктів згорання, що виникають при різанні. На основі отриманих результатів від датчиків можна судити про стан перебігу процесу різання і відповідно при виявленні неефективного стану можна вплинути на роботу виконавчих органів плазморізального обладнання, таким чином проводячи підналагодження функціонування системи в режимі реального часу. Для вирішення даної задачі необхідно об'єднати 3 складових системи, а саме: аналіз продуктів згорання, опрацювання отриманих результатів, управління виконавчими органами обладнання, що забезпечують різання. Без сумніву дана система працюватиме в автоматизованому режимі.

Ключові слова: плазмова різка, датчик, аналіз продуктів згорання.

Плазмова різка металу – це один із сучасних та продуктивних методів розкрою металу. В даному процесі ріжучим інструментом виступає плазмовий струмінь. Процес різання металу виникає за рахунок запалювання електричної дуги між електродом та соплом, через яке подається газ (повітря, кисень, азот, аргон) під тиском в 6-8 атм.. При взаємодії з електричною дугою газ нагрівається до температури 5000-30000°C і перетворюється в плазмовий струмінь. (див. рис. 1)

Власне плазма – це іонізований квазінейтральний газ, який утворює нейтральні молекули і заряджені частинки. Плазма виникає при нагріванні квазінейтрального газу (наприклад кисню) до досить високої температури при його активній іонізації. За рахунок рухливості частинок в газі, плазма має властивість проводити електричний струм. [1].



Рис. 1. Схематичне зображення процесу плазмової різки металу

Повітряний метод різання металу має середні показники якості та швидкості розкрою.

Кисень застосовується у професійних системах плазмової різки, при цьому на виході деталі маємо найкращу якість і найбільшу швидкість розкрою. При цьому якість оцінюється за рахунок перпендикулярності різку та мінімальної кількості шлаку на нижній стороні ріжучої заготовки.

В сучасних автоматизованих системах плазмового розкрою в якості ріжучого газу можуть бути використані: кисень (O_2), азот (N_2), аргон (Ar) і повітря. Ці гази можуть використовуватися як захисні, в певних пропорціях. Використання захисних газів дозволяє наблизити плазмове різання товстих заготовок (до 50 мм) до якості лазерної.

Для якості плазмового різання сталі ключовим є вміст вуглецю – даний показник впливає на кінцеву якість розкрою.

Низьковуглецева сталь найбільш підходить для плазмового розкрою. Саме на неї орієнтуються всі виробники джерел плазми створюючи карти різання, табличні значення струму і швидкості розкрою для різних параметрів товщини сталі.

Для плазмової різки високо вуглецевої сталі (зокрема й оцинкованої сталі) необхідне чітке налаштування обладнання, а також проведення додаткових експериментів режимів розкрою.

Леговані сталі (для прикладу – нержавіюча сталь) не отримує від виробників табличні значення показників розкрою з практики вони різняться на 20% від низько вуглецевої сталі. Високолеговану товстостінну сталь рекомендують різати не повітрям, а сумішшю газів: азоту, аргону і в деяких випадках водню, щоб не пошкодити її структуру навколо різку.

При розкрої кольорових металів (алюміній, мідь, титан) застосовується в основному суміш газів: азоту, аргону і водню. Для прикладу при різці даних металів повітрям погіршується якість кромки, а також обсяги виробництва. Через нестабільний розкрій можливий брак виробництва.

Переваги плазмового різання:

- Розкрій металу від 0,5 до 50 мм;
- Розкрій всіх видів металів (алюміній, мідь, титан, сталь тощо);
- Точність плазмового різання 0,25-0,35 мм;
- Швидкість розкрою тонких металів до 7 м/хв;
- Мобільність ручних плазмових апаратів;
- Висока ступінь готовності деталей (мінімальне очищення від шлаку).

Недоліки плазмового різання:

- Висока вартість якісних плазмових апаратів;
- Висока вартість витратних матеріалів (сопло, електрод, захисний екран);
- Наявність конусності різа;
- Плазмове різання супроводжується дією шкідливих факторів: шум, пило-газові суміші, що містять конденсат пари і оксиди металів, озон і оксиди азоту, інтенсивне теплове та оптичне випромінюванням.

Враховуючи описаний вище принцип дії процесу плазмової різки виникає необхідність вирішення проблем збільшення швидкості розкрою металу, а також безпосередньо якості різки.

Для зменшення кількості витратних матеріалів, а також вдосконалення процесу розкрою металу різного виду є необхідним оснастити плазмові різачи спеціальними датчиками аналізу продуктів згорання, які виникають під час роботи обладнання. Дані датчики працюють в режимі реального часу та на основі отриманих результатів мають можливість давати сигнали виконавчим органам плазморізного обладнання на зміну технологічних режимів роботи (швидкість, тиск та витрата газу, параметри струму).

На програмному рівні отримуємо наступний опис роботи програми. Перед початком роботи із розкроювання металу того чи іншого виду оператор вручну задаватиме обладнанню із яким видом металу він працюватиме, програмне забезпечення автоматично з бази даних підтягує технологічні режими роботи. Далі система постійно працює в автоматично підналагоджувальному режимі.

Список посилань

1. Інтернет ресурс – <https://terma.in.ua/ua/a391855-plazmennaya-rezka-metalla.html>
2. Інтернет ресурс – <https://dnipro-m.ua/news/plazmorez-stroenie-princzip-raboty-vybor-apparata/>
3. Інтернет ресурс – <https://kt-stal.com.ua/ua/plazma>
4. Інтернет ресурс – <https://svarka-ua.com/ua/plazmennaya-rezka-metalla-chto-eto-takoe-vidyi-i-princzip-dejstviya-osobennosti>
5. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов (E21429260), Автор: Моссэ Альфред Львович, Савчин Василий Васильевич.

Використання універсальних форм та простих геометричних образів в дизайні автомобіля

Самостян Віктор [0000-0001-6823-8558]

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна
svrmbf@gmail.com

Анотація. У роботі представлено результати аналізу етапів становлення та історію розвитку дизайну автомобілів. Визначено поняття універсальності форми та його застосування в дизайні автомобілів. В результаті проведеного дослідження окреслено деякі загальні кроки, які слід враховувати при проектуванні автомобіля. Окреслено переваги використання універсальних форми та простих геометричних елементів в дизайні автомобіля. Це дало можливість узагальнити принцип універсальності форми та використання простих геометричних образів в створенні автомобільного дизайну, який є ефективним, практичним та естетично привабливим.

Ключові слова: універсальність форми, прості геометричні образи, дизайн автомобілів.

1. Вступ

Принцип універсальності форми може бути застосований в дизайні автомобіля шляхом використання форм та елементів дизайну, які можуть бути використані для різних моделей та типів автомобілів. Наприклад, деякі елементи дизайну, такі як решітка радіатора, фари, вікна, двері та інші, можуть бути використані в більшості моделей автомобілів.

Також, універсальні форми можуть бути використані для створення елементів дизайну, які можуть використовуватись для різних функцій та моделей. Наприклад, різноманітні аеродинамічні елементи можуть бути використані для різних моделей автомобілів, щоб поліпшити їх ефективність.

Додатково, універсальні форми можуть допомогти створити більш естетично привабливий дизайн, який легко впізнавати. Наприклад, використання гладких, округлих форм може створювати відчуття елегантності та сучасності, тоді як використання відрізків та гострих кутів може створювати відчуття спортивності та динамічності.

2. Постановка завдання

Метою даної роботи є: проаналізувати етапи становлення та історію розвитку

дизайну автомобілів; дослідити рівень використання універсальних форм та простих геометричних образів у дизайні автомобілів; визначити основні переваги та недоліки використання таких форм та образів в дизайні автомобілебудування.

3. Результати дослідження та їх обговорення

Історія дизайну автомобіля охоплює багато років, починаючи з появи першого автомобіля в 1886 році. З того часу дизайн автомобіля пройшов довгий шлях, зазнавши численних змін та покращень [1].

Одним з основних принципів дизайну автомобіля є використання простих геометричних форм. В процесі еволюції автомобільного дизайну форми автомобілів стали більш складними та спрощеними в одночасному використанні [2].

На початку 20-го століття дизайн автомобіля складався з простих форм, які були легкими для виготовлення. Наприклад, автомобіль Model T, який був випущений Ford в 1908 році, складався з простих геометричних форм, таких як прямокутники та круги.

З часом, дизайн автомобіля став більш складним і естетичним, включаючи в себе округлі форми, спортивні кузови та інші деталі. У 30-і роки автомобільний дизайн став більш аеродинамічним, і автомобілі почали мати менші кузови та більш витончені форми.

У 1920-ті та 1930-ті роки автомобільний дизайн почав використовувати більше округлих форм із запаморочливими кількостями кривих, що стали ознакою стилю Art Deco. Ці форми відображали бажання віддати пошану новим матеріалам, таким як сталь і хром, а також бажання відобразити швидкість та потужність.

У 1950-ті та 1960-ті роки автомобільний дизайн став більш прямолінійним та геометричним. Співісторично з'явився в наслідок зростання інтересу до космічної технології, і його естетика відображала бажання віддати шану новим матеріалам, таким як пластик, та відобразити ідеї прогресу.

У 1970-ті та 1980-ті роки автомобільний дизайн став більш експериментальним, використовуючи складні форми із витонченими лініями. Це відображало технологічні зрушення в галузі автомобілебудування та збільшення інтересу до комп'ютерної графіки.

Сучасні тенденції використання простих геометричних форм в дизайні автомобіля включають в себе використання прямих ліній, кругів та еліпсів для створення простих, чистих та сучасних форм.

Одна з таких тенденцій полягає в зниженні кількості ліній та збільшенні простих геометричних форм. Наприклад, більшість сучасних автомобілів мають менше ліній та дуже прості форми, що створює враження силового та динамічного дизайну.

Ще одна тенденція – використання геометричних форм для створення великих поверхонь без перешкод та зайвих деталей. Такий підхід дозволяє створювати великі поверхні з чіткою формою, які забезпечують якість аеродинаміки та зниження опору повітря.

Крім того, дизайнери використовують прості форми для створення контрастних деталей та візуальних ефектів. Наприклад, прості круги та кутові лінії можуть використовуватися для створення враження швидкості та енергії. Інша тенденція включає в себе використання простих геометричних форм для створення сучасного LED-освітлення та додаткових деталей, таких як дзеркала заднього виду та дефлектори повітря. Такі деталі можуть бути візуально простими, але вони підсилюють дизайн сучасного автомобіля.

Розробка дизайну автомобіля вимагає поєднання креативності, інженерії та практичності [3]. Ось деякі загальні кроки, які слід враховувати при проектуванні автомобіля:

- Визначення призначення автомобіля: це буде спортивний автомобіль, економічний автомобіль, розкішний автомобіль чи щось інше? Призначення автомобіля визначатиме його розмір, форму, характеристики та продуктивність.

- Розробка концепції: створення загального уявлення про те, як виглядатиме автомобіль, його характеристики та функціональність. Врахування цільової аудиторії та цільове використання автомобіля.

- Створення ескізу і вдосконалення дизайну: створення приблизних ескізів екстер'єру та інтер'єру автомобіля, а потім їх уточнення, доки не отримається детальний і вичерпний дизайн. Використання у цьому процесі програмного забезпечення автоматизованого проектування (CAD).

- Врахування конструкції автомобіля: проект також повинен враховувати механічні та електричні системи автомобіля. Це включає двигун, трансмісію, підвіску, гальма та електроніку. Інженери працюватимуть над тим, щоб проект був здійсненним і щоб автомобіль можна було виготовити в рамках бюджету.

- Прототип і випробування автомобіля: після завершення розробки створюється прототип автомобіля та ретельно випробовується, щоб виявити будь-які проблеми, які потрібно вирішити.

- Виробництво автомобіля: після того, як прототип було вдосконалено та випробувано, настав час виготовити автомобіль. Це включає в себе складання кузова, двигуна та інших компонентів.

Універсальність форми та прості геометричні елементи в дизайні автомобіля мають декілька переваг, які дозволяють їх широко використовувати в автомобільному дизайні:

1. Легкість сприйняття: Прості форми є легко сприйнятними та зрозумілими для більшості людей. Це дозволяє швидко зв'язатися з автомобілем та впізнати його серед інших транспортних засобів.

2. Можливість зміни: Універсальні форми можуть бути змінені та

адаптовані до різних моделей автомобілів. Прості геометричні елементи можуть бути додані або вилучені, щоб підібрати дизайн автомобіля до різних потреб та вимог ринку.

3. Сучасний вигляд: Прості форми та геометричні елементи можуть додати сучасності та інноваційності до дизайну автомобіля. Вони дозволяють створювати чисті, гладкі поверхні, які підсилюють враження швидкості та енергії.

4. Чітка структура: Використання простих геометричних елементів дозволяє створювати чітку структуру та легку сприйнятність форми. Це особливо важливо для створення спортивних автомобілів, де геометричні форми допомагають підсилити враження швидкості та динаміки.

5. Відображення марки: Універсальні форми та прості геометричні елементи можуть стати частиною ідентичності марки та допомогти підкреслити її стиль та філософію.

4. Висновки

У даній роботі проаналізовано основні етапи становлення та історія розвитку дизайну автомобілів. В результаті проведеного дослідження окреслено деякі загальні кроки, які слід враховувати при проектуванні автомобіля. Досліджено переваги використання універсальних форми та простих геометричних елементів в дизайні автомобіля.

У загальному, принцип універсальності форми та використання простих геометричних образів може допомогти в створенні автомобільного дизайну, який є ефективним, практичним та естетично привабливим.

Список посилань

1. The Car Book: The Definitive Visual History (2022). Dorling Kindersley, 368 p.
2. К. Степанян (2021). Автомобільний дизайн другої половини XX сторіччя: відповідь на виклики часу, Про странство 15, 271–283 URL: <https://www.prostranstvo.media/uk/avtomobilnyj-dyzajn-drugoyi-polovyny-xx-storichchya-vidpovid-na-vyklyky-chasu/>.
3. Deyan Sudjic (2021). The alphabet of the modern world. ArtHuss, 416 p.

Відпускна крихкість штампової сталі 4Х4Н5М4Ф2 (без високотемпературної механічної обробки)

Сидорчук Олег^{1,2}, Гогаєв Казбек¹, Радченко Олександр¹,
Аскеров Мукафат Гейбат огли¹, Подрезов Юрій¹, Євич Ян¹

¹ Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ, 03142, Україна

² Ningbo IPMS research and technology center Co., Ltd. No 218, Ningbo city, China
sedoroleg@ukr.net

Анотація. Досліджено сталь з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (4Х4Н5М4Ф2). При дослідженні було виявлено, що формування твердого розчину типу $Fe_{1-x}Ni_x$ відбувається в інтервалі температур відпускної крихкості (450-500 °С), внаслідок чого підвищується параметр кристалічної ґратки «а». Таким чином, відбувається зниження ударної в'язкості та підвищенню крихкості сталі. Мінімальна величина ударної в'язкості сталі становить 15 J/cm² після відпуску за температури 475 °С.

Ключові слова: сталь, термічна обробка, фазовий склад, кристалічна структура, механічні властивості.

1. Вступ

Для гарячого деформування виробів з кольорових металів та сплавів в інтервалі температур 400-650 °С та вище 900 °С застосовують матриці із сталі типу 4Х4Н5М4Ф2 [1]. Додаткове введення легуючого елемента нікелю до складу штампових сталей типу 3Х3М3Ф на феритній основі дало можливість знизити критичні точки A_1 та A_3 . Завдяки чому, був розроблений новий клас сталей, які при кімнатній температурі відносились до феритного класу, а при експлуатаційній переходили до аустенітного стану. Такі сталі, були названі сталями з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ). Проте, нагрів гартованої легованої конструкційної сталі з РАПЕ, нижче критичної точки A_1 у системі "Fe-C" при відпуску призводить до виникнення відпускної крихкості першого роду (не обернена) у певному температурному інтервалі залежно від хімічного складу. Метою роботи було встановити передумови виникнення відпускної крихкості сталі для уникнення певних температурних умов експлуатації (при квазістаціонарних витримках) матриць гарячого деформування кольорових металів та сплавів.

2. Результати та їх обговорення

Найбільш структурно-чутливою механічною характеристикою пов'язаною з фазово-структурним станом сталі для визначення відпускнуї крихкості є її ударна в'язкість. Встановлено, що за температури відпуску 475 °С спостерігається максимальне зниження величини ударної в'язкості (12-18 J/cm²). Зниження величини ударної в'язкості сталі починається за температури 450 °С і закінчується – 500 °С. Встановлена оптимальна температура відпуску (590±1 °С), призвела до підвищення ударної в'язкості у два рази, тобто повторний відпуск сталі при більш високій температурі зменшує схильність до відпускнуї крихкості в інтервалі небезпечних температур 450-500 °С. За температур відпуску від 450 до 475 °С параметр кристалічної ґратки сталі збільшувався від 2,8823 до 2,8843 Å. Це пояснювалося тим, що відбувається утворення твердого розчину заміщення (хімічна формула фази Fe_{0,93}Ni_{0,056}) [2]. Легуючий елемент Ni призводить до затримання процесів коагуляції з виділенням карбідної фази типу M₆C на межах зерен у твердому розчині, зниження ударної в'язкості (12-18 J/cm²) та підвищення крихкості сталі. Максимальне значення параметру «а» кристалічної ґратки (2,8843 Å) підтверджує максимальну насиченість твердого розчину на основі системі Fe-C. Також було встановлено, що при різних температурах відпуску (450-500 °С) мало місце рівномірне розподілення заліза та нікелю по матриці. При температурі відпуску вище за 475-500 °С, параметр кристалічної ґратки поступово зменшується до 2,8840 Å, а ударна в'язкість та поріг міцності збільшується до 27-30 J/cm² та 1360-1380 МПа, відповідно. За температури відпуску вище 500 °С відпускна крихкість (не обернена) сталі 4X4H5M4Ф2 (без високотемпературної механічної обробки) не спостерігається. Таким чином, відпускна крихкість сталі 4X4H5M4Ф2 (без високотемпературної механічної обробки) за температури відпуску 450-500 °С, пов'язана із збільшенням параметра «а» кристалічної ґратки при утворенні твердого розчину заміщення типу Fe_{1-x}Ni_x. Введення нікелю у досліджену сталь призводить до затримання процесів коагуляції із виділенням карбідної фази типу M₆C на межах зерен у твердому розчині і зниження ударної в'язкості та підвищення крихкості сталі.

Список посилань

1. Пат. № 141447 Україна UA, МПК С22С 38/00. Штампова сталь / Гогаєв К.О., Радченко О.К., Сидорчук О.М., Миронюк Д.В. – № u201909670; заяв. 05.09.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. № 7/2020.
2. Биков О.І., Сидорчук О.М., Миронюк Л. А., Миронюк Д.В., Шведова Г.Л., Коновал В.П., Корічев С.Ф., Позній А. П. Рентгенівський аналіз особливостей формування кристалічної структури основних фаз та властивостей сталі 4X4H5M4Ф2 у разі відпуску // Металофізика і новітні технології. – № 11. – 2021. – С. 1523-1536.

До можливості вдосконалення 3D-друку за технологією SLS

Симонюк Володимир^[0000-0002-7624-4760], Тимошук Антон^[0009-0005-7645-541X]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
volodimir_simonyuk@ukr.net

Анотація. Одним із вагомих вдосконалень 3D-друку за технологією SLS, яке можливо досягти, підсиливши лазерну систему пристрою, це підвищення швидкодії пристрою, тобто, наскільки швидко лазерний промінь може розігріти мікрочастинки порошку до температури їх спікання не пошкодивши якість матеріалу друку.

Ключові слова: технологія SLS, лазерне спікання, 3D-друк.

Досягнення в галузі техніки, матеріалів і програмного забезпечення відкрили можливість друку за технологією SLS ширшому колу компаній. Раніше такі інструменти використовувалися лише в кількох високотехнологічних галузях.

У традиційних промислових системах 3D-друку за технологією SLS встановлено один або кілька потужних лазерів. Для запобігання окисленню і руйнуванню порошку в процесі друку потрібне інертне середовище (азот або інші гази), що вимагає наявності спеціалізованого обладнання для обробки повітря. Для таких установок також необхідні спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВКВ) і промислове електропостачання. Особливість селективного лазерного спікання – в тому, що для побудови геометрично складних деталей не використовується матеріал підтримки. У ролі підтримуючої структури виступає порошок, який не зазнав впливу лазерного променю.

Матеріали для 3D-друку за технологією SLS – пластикові порошки з домішками, що мають різні механічні властивості. Широкий вибір матеріалів дає підприємствам, які впровадили SLS-технологію, додаткову гнучкість.

Відсутність підтримок дає можливість моделювати складну геометрію (як внутрішніх елементів, так і цілого виробу), якої не можна домогтися під час створення виробів традиційними методами. Крім того, виключається ризик пошкодження надрукованої деталі. Як результат – значна економія часу на складання і коштів на матеріали.

Ще одна важлива вигода, яку дає технологія, – великий обсяг камер побудови. Це дає можливість надрукувати досить великі об'єкти або невелику партію за одну сесію. Технологія забезпечує високу швидкість друку. Оскільки вона не передбачає повного розплавлення частинок матеріалу, SLS-установки більш продуктивні, ніж інші 3D-принтери, що працюють із порошками.

3D-друк дозволяє створювати деталі, які мають внутрішні канали, решітчасті структури та інші особливості, неможливі при литті.

SLS також пропонує високий ступінь передбачуваності матеріальних і механічних властивостей, тому він популярний в аерокосмічній, медичній та регульованих галузях промисловості. Крім того, SLS-друк здебільшого не потребує підтримки, що розширює можливості проектування та виробництва дуже складних геометричних форм. Ця технологія популярна для функціональних прототипів, моделей оцінки дизайну, невеликих виробничих циклів, споживчих товарів кінцевого використання та тестування продукції, серед інших застосувань. Одним із вагомих вдосконалень 3D-друку за технологією SLS, яке можливо досягти, підсиливши лазерну систему пристрою, це підвищення швидкодії пристрою. Швидкість друку по технології селективного лазерного спікання означає те, наскільки швидко лазерний промінь може розігріти мікрочастинки порошку до температури їх спікання не пошкодивши якість матеріалу друку.

Швидкість друку - це поняття комбіноване і залежить ще і від матеріалу друку. Швидкодія напрямку впливає на якість отриманої деталі, оскільки спікання йде між декількома фрагментами порошку, і якщо крайні фрагменти будуть остигати під час повільного нагрівання центрального, якість спікання буде суттєво знижуватися.

Перспективною є необхідність проводити скрупульозні дослідження впливу потужності лазерного променя на швидкість доведення фрагменту порошку відповідної площі до такої температури, при якій можливе якісне спікання фрагменту матеріалу з іншими, і при цьому не призведе до руйнування матеріалу через перегрів, його спалення, чи погіршення фізико-механічних властивостей. Також, необхідно враховувати дистанцію до лазеру і кількість спечених шарів під щойно створеним шаром.

Список посилань

1. The Different SLS 3D Printers on the Market. [Електронний ресурс] / Published on July 14, 2022 by Niru K. – Режим доступу: <https://www.3dnatives.com/en/different-sls-3d-printers-220320184/>
2. The Best SLS 3D Printers of 2022. [Електронний ресурс] / by Ile Kauppila. Updated Mar 15, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/#sintratec-kit>
3. Selective Laser Sintering [Електронний ресурс] / Protolabs, 2022 – Режим доступу: <https://www.protolabs.com/services/3d-printing/selective-laser-sintering/>
4. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. [Електронний ресурс] / Formlabs, 2022 – Режим доступу: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
5. What is SLS 3D printing? [Електронний ресурс] / Sinterit, 2022 – Режим доступу: <https://sinterit.com/blog/sls-technology/what-is-sls-3d-printing/>
6. SLS 3D Printing – The Ultimate Guide. [Електронний ресурс] / by Carolyn Schwaar. Published Jul 21, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/sls-3d-printing-the-ultimate-guide/>

Дистанційно-керований роботизований маніпулятор

Сичук Аліна¹, Сичук Віктор²[0000-0002-8267-0846]

¹ Комунальний заклад загальної середньої освіти «Луцький ліцей №14 імені Василя Сухомлинського Луцької міської ради», вул. Гімназійна, 8, Луцьк, 43003, Україна

² Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
alindron666@gmail.com

Анотація. Прилади з дистанційним керуванням здатні вберегти життя та здоров'я людини, адже в небезпечних, недосяжних та екстремальних умовах, ними можна керувати віддалено. Несприятливі умови можуть бути в таких сферах, як: медицина, космонавтика, військова сфера, гірничо-видобувна промисловість, пожежогасіння і т.п. Сутність роботи полягає у створенні робота-маніпулятора, що повторює рухи кінцівок людини-оператора у реальному часі для дистанційного виконання робіт у небезпечних умовах або важкодоступних місцях. Розроблений робот “Аватар” складається з п'яти систем: перша – джерела живлення; друга – “рукавиця”, що одягається на людську руку, щоб керувати виконавчими органами (для зручного згинання, розгинання та прокручування руки конструкція “рукавиці” базується на анатомії руки людини); третя – система, що передає інформацію рухів від “рукавиці” до виконавчих органів; четверта – виконавчі органи, тобто роботизований маніпулятор, що копіює рухи руки людини; п'ята – дистанційне бачення. Комплекс робот “Аватар” може виконувати прості типові рухи: схопити, відпустити, повернути, підняти, перемістити, притягнути тощо. При цьому, робот може здійснювати свою роботу не лише рукою, а й інструментами.

Ключові слова: енкадер, драйвер, кроковий двигун, дистанційне керування.

Для виконання робіт у важкодоступних і віддалених місцях (монтаж конструкцій у космосі, на дні моря), за несприятливих та небезпечних умов (переміщення радіоактивних, вибухонебезпечних речовин, ліквідація аварій в умовах високих температур, хімічного забруднення), а також у медицині (проведення лапароскопічних операцій, у т.ч. і на відстані) – в усіх цих випадках використовують маніпулятори з дистанційним керуванням. Керування може здійснюватись через електронні, гідравлічні, пневматичні або механічні зв'язки. Перші пристрої з дистанційним керуванням з'явилися ще в кінці 19-го ст., їх розробка та удосконалення і досі залишається

актуальною проблемою.

Оператор використовує для керування маніпуляторами різноманітні пристрої: кнопки, ручки, джойстики, і така робота вимагає спеціальної підготовки.

Оскільки рука людини – найбільш досконала система для виконання складних рухів різної амплітуди з великою точністю, виконавчий механізм маніпулятора часто виготовляють схожим за своєю структурою на руку. У цьому випадку найпростіший і інтуїтивно зрозумілий спосіб управління повторення маніпулятором рухів руки людини-оператора.

Для того, що маніпулятор міг виконувати складні поступально-обертальні рухи у широкому діапазоні амплітуд, тобто, працювати як рука людини, найпростішою для оператора, інтуїтивною системою керування буде така, при якій маніпулятор повторюватиме рухи руки оператора. Для цього на руку оператора слід одягнути пристрій, який аналізуватиме рух кожного суглоба і передаватиме дані маніпулятору, сконструйованому за зразком людської руки. Цей пристрій ми назвали «рукавиця». На рис. 1. представлена функціональна схема роботи комплексу систем робота «Аватар».

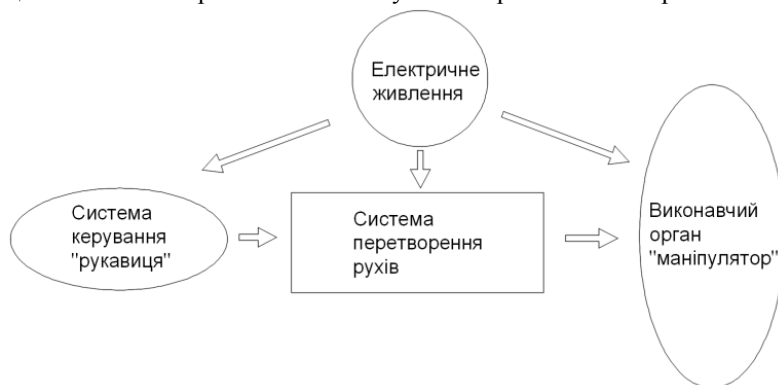


Рис. 1. Функціональна схема роботи комплексу систем робота «Аватар»

На системі керування розташовуються сенсори, що вловлюють рухи нашої руки. Далі ці сигнали необхідно перетворити та передати виконавчим органам, які і будуть відтворювати рухи руки оператора. Всі ці елементи будуть отримувати енергію від акумулятора.

Оскільки ідея створення «механічної руки» з'явилася як один зі способів вирішити проблему розмінування українських територій, до маніпулятора були поставлені додаткові вимоги. Пристрій працюватиме у польових умовах з вибухонебезпечними предметами, тому основна концепція полягає в тому, щоб створити комплекс систем робота «Аватар» без використання комп'ютерних технологій, аби поліпшити надійність усієї системи. Також варто виготовити робота з максимально простих, дешевих та

доступних матеріалів, щоб можна було легко ліквідувати можливі пошкодження.

На рисунку 2 представлено розроблені експериментальні функціональні системи, які створюють комплекс робота «Аватар». Також на рисунку 3 представлений QR код з посиланням на відеоролик в якому показані практичні випробування функціональних можливостей комплексу.

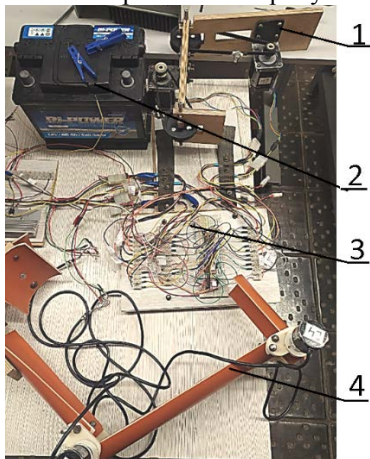


Рис. 2. Системи комплексу «Аватар»:

- 1 – маніпулятор; 2 – електричне живлення;
- 3 – драйвери крокових двигунів;
- 4 – система керування



Рис. 3. QR код з посиланням на відеоролик випробування комплексу робот «Аватар»

Маніпулятор 1 складається з ланок які рухаються кроковими двигунами через пасові передачі. Електричне живлення 2 представляє автомобільний акумулятор на 12В, даний вид живлення обраний через його величезну популярність та доступність. Драйвери 3 крокових двигунів служать для перетворення та передачі імпульсів від системи керування 4, на якій розміщені імпульсні оптичні енкодери, до крокових двигунів маніпулятора.

Переглянувши відеоролик можна судити про працездатність запропонованого рішення щодо дистанційного управління маніпулятором.

Список посилань

1. Інтернет ресурс - https://pidru4niki.com/78297/meditsina/kistki_kintsivok
2. Довідка програмного забезпечення «SolidWorks»
3. Datasheet оптичного енкодера на 200 імп/об
4. Datasheet драйверів A4988 та TB6600
5. Datasheet крокових двигунів Nema 23 та Nema 19

Корозія ікосаедричних і декагональних квазікристалів у сплавах Al–Cu–Fe та Al–Cu–Co

Сухова Олена¹, Полонський Володимир²

¹ Інститут транспортних систем і технологій НАН України,
вул. Пісаржевського, 5, Дніпро, 49005, Україна

² Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара,
пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна
polva57@gmail.com

Анотація. В роботі досліджено корозію сплавів Al–Cu–Fe і Al–Cu–Co, які містять відповідно тривимірну ікосаедричну ψ -фазу та двовимірну декагональну D-фазу. Структуру сплавів вивчали методами кількісного металографічного, атомно-абсорбційного спектроскопічного, рентгеноструктурного та растрового електронно-мікроскопічного аналізів. Корозію досліджували протягом 1–4 годин гравіметричним методом у водних розчинах кислот HNO_3 , HCl , H_3PO_4 і H_2SO_4 ($\text{pH}=1,0$) за кімнатної температури. Встановлено, що після 4 годин випробувань максимальна питома втрата маси сплавів Al–Cu–Fe відбувається в сульфатній кислоті, а мінімальна – в ортофосфорній. Для сплавів Al–Cu–Co, максимальна питома втрата маси спостерігається в розчині ортофосфорної кислоти, а мінімальна – в розчині нітратної кислоти. В усіх досліджених кислих середовищах сплави Al–Cu–Co, в яких утворюються декагональні квазікристали, характеризуються більшим опором корозії, чим сплави Al–Cu–Fe, в структурі яких присутні ікосаедричні квазікристали. Фази в структурі сплавів Al–Cu–Fe, що містять менше Fe, та фази в структурі сплавів Al–Cu–Co, що містять більше Co, менш схильні до корозії.

Ключові слова: Квазікристали, Водні Розчини кислот, Корозія.

1. Вступ

Квазікристалічні фази знайдені більш ніж у сотні металевих систем [1]. До таких систем належать потрійні сплави Al–Cu–Fe та Al–Cu–Co, в яких ці фази кристалізуються в умовах повільного охолодження. В системі Al–Cu–Fe утворюється ікосаедрична фаза (ψ - фаза), для якої характерний аперіодичний порядок у трьох напрямках. В системі Al–Cu–Co спостерігається декагональна фаза (D-фаза), яка має аперіодичний порядок у двох напрямках і періодичний порядок у третьому напрямку.

Властивості ікосаедричних і декагональних квазікристалів значною мірою відрізняються [1]. А відтак, їх корозійні властивості також можуть бути

суттєво різними. З огляду на цінність цих матеріалів для практичного застосування, в роботі проведені порівняльні дослідження корозійної поведінки ікосаедричних і декагональних квазікристалічних фаз у сплавах Al–Cu–Fe і Al–Cu–Co у водних розчинах кислот.

2. Матеріали та методи

Квазікристалічні сплави виплавляли в концентраційних діапазонах (в ат. %): сплави Al–Cu–Fe – Al (63–65), Cu (24–25), Fe (11–12); сплави Al–Cu–Co – Al (63–65), Co (20–21), Cu (15–16) (чистота не менше 99,9 %). Швидкість охолодження сплавів дорівнювала 5 °C/с. Середній хімічний склад сплавів визначали методом атомно-абсорбційного спектроскопічного аналізу на приладі Sprut СЕФ-01-М. Мікроструктуру сплавів вивчали за допомогою оптичного мікроскопу Neophot та структурного аналізатора Epiquant. Рентгеноструктурний аналіз виконували у Cu-K_α випромінюванні на приборі ДРОН-УМ-1.

Корозійні властивості визначали гравіметричним методом після витримки зразків сплавів упродовж 1–4 годин у розчинах кислот HNO₃, HCl, H₃PO₄ і H₂SO₄ (рН=1,0) за температури 20±2 °C. Значення показника рН корозійного середовища вимірювали за допомогою іонміра ЕВ-74. Після випробувань зразки зважували на аналітичних вагах WA-21 з похибкою, меншою за 0,1 мг, і розраховували швидкість корозії. Поверхню сплавів, яка зазнала дії кислих розчинів, досліджували на растровому електронному мікроскопі REM-1061.

3. Результати та обговорення

За даними металографічного та рентгеноструктурного аналізів у структурі досліджених квазікристалічних сплавів Al–Cu–Fe утворюються первинні дендрити фази λ-Al₁₃Fe₄, навколо яких спостерігаються обідки ікосаедричної ψ-фази, що кристалізується за перитектичною реакцією P+λ→ψ [2]. Відносний вміст квазікристалів у структурі становить ~50–55 об. %. По границях ψ-фази присутні кристалічні фази β-Al(Cu,Fe) та θ-(Al₂Cu).

У структурі сплавів Al–Cu–Co ідентифіковані три фази [3]. Квазікристалічна декагональна D-фаза кристалізується у вигляді стовпчастих дендритів за перитектичною реакцією між первинною фазою Al₄(Co,Cu)₃ та рідиною. Об'ємний вміст квазікристалів становить ~60–65 об. %. Залишок рідини твердіє з утворенням фази Al₃(Cu,Co)₂.

В порядку зростання питомої зміни маси сплавів Al–Cu–Fe після корозії упродовж 4 годин, розчини кислот можна розташувати в такому порядку: ортофосфорна→хлоридна→нітратна→сульфатна. Для сплавів Al–Cu–Co цей ряд виглядає так:

нітратна→хлоридна→сульфатна→ортофосфорна. Порівняння результатів гравіметричних вимірювань показує, що сплави Al–Cu–Co, в яких утворюється декагональна квазікристалічна D-фаза, характеризуються більшим опором до корозії в усіх досліджених розчинах. Кобальт, присутній у складі сплавів Al–Cu–Co, сповільнює корозію в кислих середовищах, тоді як залізо в сплавах Al–Cu–Fe її прискорює. Цей висновок підтверджують результати визначення швидкості корозії зразків, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Швидкість корозії квазікристалічних сплавів у розчинах кислот (рН=1,0)

Сплави	Швидкість корозії, г/м ² ·год			
	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄
Al–Cu–Fe	6,19±0,14	4,10±0,11	9,55±0,25	2,53±0,07
Al–Cu–Co	1,15±0,01	0,24±0,02	1,47±0,02	2,05±0,03

Результати растрової електронної мікроскопії показують, що сплави Al–Cu–Fe більш активно кородують в розчинах кислот порівняно зі сплавами Al–Cu–Co. Дію кислот гальмує Co, присутній у складі структурних складових цих сплавів. Кислоти діють лише локально, що забезпечує менші втрати маси та нижчу швидкість корозії. Отже кобальт сприяє підвищенню корозійної тривкості сплавів на основі алюмінію в досліджених кислих середовищах.

Список посилань

1. Stadnik Z.M. Physical properties of quasicrystals / Z.M. Stadnik. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. – 257 p.
2. Sukhova O. V. Corrosion-electrochemical properties of quasicrystalline Al–Cu–Fe–(Si,B) and Al–Ni–Fe alloys in NaCl solution / O.V. Sukhova, V.A. Polonsky, K.V. Ustinova // Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii. – 2018. – Vol. 121, no. 6. – P. 77-83.
3. Sukhova O.V. Peculiarities in the structure formation and corrosion of quasicrystalline Al₆Co₂₀Cu₁₅ alloy in neutral and acidic media / O.V. Sukhova, V.A. Polonsky // East European Journal of Physics. – 2021. – No. 3. – P. 49-54.

Розробка інформаційно-математичного забезпечення експертної системи позапічної десульфурації чавуну

Тогобицька Дарія^[0000-0001-6413-4823], Молчанов Лавр^[0000-0001-6139-5956],
Кисляков Володимир^[0000-0002-1775-5050], Ліхачов Юрій

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України,
пл. ак. Стародубова, 1, м.Дніпро, 49107, Україна
dntog@ukr.net

Анотація. Відповідно до розробленої в ІЧМ концепції створення Інтелектуальних систем підтримки ухвалення рішень з управління технологічними процесами виплавки якісного металу викладено результати інформаційно-математичного забезпечення з розвитку Експертної системи "Позапічна обробка чавуну (ПОЧ)" у рамках виконання проекту з розробки наскрізної технології отримання високоякісної металопродукції. Для оптимізації процесу наскрізної технології та її інформаційно-математичного забезпечення розроблено модульні математичні моделі. Створено інтегровану базу даних, що узагальнює інформацію про параметри технології десульфурації чавуну зернистим магнієм. Описано та представлено експертну систему «Позапічна обробка чавуну», що дозволяє забезпечити отримання високоякісної металопродукції.

Ключові слова: чавун, модель, десульфурація, магній, вапно.

1. Вступ

Створення наскрізної технології виробництва конкурентоспроможної металопродукції в сучасних умовах ставить на порядок денний завдання оптимізації багатоланкового ланцюга отримання металу. У вирішенні зазначеної задачі значна роль належить розробці інформаційно-моделюючої системи аналізу та прийняття рішень для вибору оптимальної схеми технології [1]. Важливою ланкою наскрізної технології є позапічна обробка чавуну. Ефективність вирішення стратегічних завдань забезпечення конкурентоспроможності металопродукції в конкретних промислових умовах у значній мірі визначається ступенем комп'ютеризації виробничих ділянок, наявністю працездатних інформаційно-аналітичних систем, систематизацією, накопиченням фундаментальних фізико-хімічних даних [2] і комплексним аналізом поточних виробничих даних.

2. Основний матеріал

Розробки інформаційно-математичного забезпечення створення Експертної системи десульфурація чавуну зернистим магнієм або зернистим магнієм та вапном веліся у трьох напрямках.

Перший пов'язаний з розвитком підсистеми інформаційного забезпечення. Розроблено програмний модуль автоматизованої процедури поповнення форматизованих за спеціальним шаблоном машинних паспортів з архіву технологічної інформації.

Другий напрямок розробок пов'язаний з вивченням адекватності розробленої моделі прогнозування питомої витрати металевого магнію при позапічній обробці чавуну, а також оцінки ролі окремих складових моделі.

Вираз для оцінки питомої витрати металевого магнію в реальних умовах роботи установки позапічної десульфурації чавуну магнієм має вигляд:

$$q_{Mg} = \left(10,55 \cdot S_{\text{поч.}} + \frac{0,00095}{S_{\text{кін.}}} \right) \cdot \left(\left(\frac{M_{\text{чав.}}}{52,4} \right) + \left(\frac{T-1325}{100} \right) \cdot \left(\frac{-112,6 - (0,18 \cdot T - 385,22)}{-112,605} \right) + (I-5,26) \cdot 0,09 \right) - (H_{\phi} - 1,86) \cdot \left(\frac{-108,63}{0,00004 \cdot H_{\phi}^2 - 0,0005 \cdot H_{\phi} - 108,63} - 1 \right) - (q_{\text{шл}} - 2,8) \cdot 0,019 \quad (1)$$

де: q_{Mg} – питома масова витрата магнію, кг/т; $S_{\text{поч.}}$, $S_{\text{кін.}}$ – початковий та кінцевий вміст сірки, %; $M_{\text{чав.}}$ – маса чавуну в ковші, т; H_{ϕ} – глибина занурення фурми, м; T – температура чавуну до обробки, °С; I – інтенсивність введення реагенту, кг/хв; $q_{\text{шл.}}$ – кількість шлаку в ковші, т.

Для прогнозу моделі питомої витрати магнію при обробці сумішами Mg-CaO в 250-т заливальних ковшах ДМК виведено вираз:

$$q_{Mg} = \left(65 \cdot S_{\text{поч.}} + \frac{0,001}{S_{\text{кін.}}} \right) \cdot \left(\left(\frac{M_{\text{чав.}}}{220} \right) + \frac{T-1300}{1300} \cdot \left(\frac{239,89 + 0,087 \cdot (273+T) - 376,45}{239,89} \right) + \frac{239,89}{99,9} \cdot \left(\frac{M_{Mg}}{M_{CaO}} - 0,25 \right) \right) \quad (2)$$

де: q_{Mg} – питома масова витрата магнію, кг/т; $S_{\text{поч.}}$, $S_{\text{кін.}}$ – початковий та кінцевий вміст сірки, %; $M_{\text{чав.}}$ – маса чавуну в ковші, т; T – температура чавуну до обробки, °С; M_{Mg} , M_{CaO} – питома витрата магнію та вапна на обробку, кг/т.

Третій напрямок пов'язаний з розробкою архітектури модельної системи для експертної оцінки позапічного рафінування чавуну. Виконані розробки створили передумови побудови архітектури Експертної системи прийняття рішень, макросхема якої представлено на рис. 1.

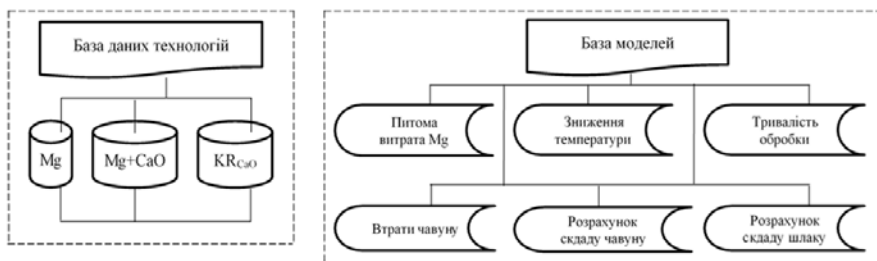


Рис. 1. Макросхема алгоритму системи позапічної обробки чавуну

Нижче представлений відеокADR роботи програми «Позапiчна обробка чавуну» в режимi коiнжекцiї чавуну магнiєм i вапном (рис.2).

Введення даних		Налаштування		Вихiд					
Кiвш		Магнiй		Магнiй-кальцiй					
Питома масова витрата реагенту (кг/т)				1.1526					
Кiлькiсть шлаку, що утворюється (кг/т)				0.6078					
Кiлькiсть металу у шлацi (кг/т)				0.2552					
Зниження температури чавуну в процесi обробки (°C)				3.4					
Маса чавуну пiсля обробки (т)				169.3568					
Маса шлаку пiсля обробки (т)				15.6078					
Склад чавуну	Si	Mn	S	P	C				
	0.71	0.29	0.04	0.065	4.2				
Склад шлаку :	CaO	SiO2	MnO	FeO	S	MgO	Fe2O3	Al2O3	CaO-SiO2
	18.06	27.24	3.42	4.19	1.68	11.31	1.49	19.68	0.63

Рис. 2. Результати роботи програми «Позапiчна обробка чавуну» для десульфуратiї чавуну магнiєм i вапном

Список посилань

1. Тогобицкая Д.Н. Формирование интегрированной базы экспериментальных данных о составе и технологических параметрах технологии десульфурации зернистым магнием /Д.Н.Тогобицкая, Л.С. Молчанов, А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, Ю.М. Лихачев // Литье. Металлургия. 2019: Материалы XIV МНПК, Запорожье, 21-23 мая 2019. – Запорожье: «ЗТПП». – 2019. – С.360-362.
2. Приходько Э.В., Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Степаненко Д.А. Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем. Днепропетровск: Пороги, 2013. – 344 С.

Вплив модифікування поверхневого шару киснем на опірність окисненню сплаву Zr-1%Nb

Труш Василь^{1[0000-0002-2264-3918]}, Погрелюк Ірина^{1[0000-0002-3009-2829]},
Лук'яненко Олександр^{1[0000-0001-6642-2300]}, Кравчишин Тарас^{1[0009-0009-4220-6465]},
Тихоновський Михайло², Стоєв Петро^{2[0000-0001-7942-5850]}

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна

² Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій
ННЦ «ХФТ» НАН України, вул. Академічна, 1, Харків, 61108, Україна

Анотація. Робота спрямована на поліпшення властивостей ТВЕЛЬних трубок зі сплаву Zr-1%Nb шляхом модифікування приповерхневого шару металу елементами проникнення. У якості методу модифікування використовували хіміко-термічну обробку (ХТО), яка полягала у дифузійному насиченні приповерхневого шару металу киснем. Розглянуто вплив режимів ХТО на окиснення на повітрі зразків сплаву Zr-1%Nb. Показано, що ХТО призводить до зменшення приросту маси при окисненні протягом 100 годин на повітрі за температури 550°C. Зроблено висновок про перспективність використання ХТО для підвищення опірності до окиснення трубок сплаву Zr-1%Nb.

Ключові слова: цирконієвий сплав, кисень, приповерхневий шар, окиснення, приріст маси, акустична емісія.

1. Вступ

Сплави цирконію на даний час є основним конструкційним матеріалом, з якого виготовляються ТВЕЛЬні трубки, кріпильні, дистанційуючі, герметизуючі та інші деталі активної зони ядерних реакторів [1].

Взаємодія виробів з цирконієвих матеріалів з навколишнім робочим середовищем істотно погіршує механічні властивості і скорочує термін їх служби [2-3]. Ці процеси включають корозію і гідрування. З метою зменшення їх негативного впливу в даний час ведуться інтенсивні дослідження з розробки методів нанесення захисних покриттів на поверхню виробів з цирконію, а також модифікації їх поверхні. Перспективним методом цілеспрямованого модифікування поверхневого шару металів та сплавів є хіміко-термічна обробка (ХТО), зокрема, метод дифузійного насичення киснем і азотом приповерхневих шарів металу [4-6]. Отож, метою даної роботи було вивчення впливу режимів ХТО в кисневмісному газовому середовищі на швидкість окиснення та акустичні характеристики при розтягуванні зразків ТВЕЛЬних трубок зі сплаву Zr-1%Nb.

2. Матеріали та методика досліджень

Зразки для виконання ХТО та механічних випробувань вирізали з трубок діаметром 9,13 мм і товщиною стінки 0,67 мм; ширина зразків складала 3,0 мм. Режими ХТО у кисневмісному газовому середовищі при температурі 580°C упродовж трьох годин за тиску кисню 10^2 Па (режим *P1*) та за комбінованого тиску 10 Па + 10^2 Па (режим *P2*). Дослідження зразків розтягом виконували на універсальній випробувальній машині 1958 У10-1 зі швидкістю деформації 0,17 мм/хв (2×10^{-4} с⁻¹) за кімнатної температури.

3. Результати досліджень та їх обговорення

ХТО має незначний вплив на механічні характеристики, особливо на величину видовження (табл. 1) Режим *P2* практично не змінює характеристики міцності, але призводить до підвищення видовження до руйнування, тобто пластичності.

Таблиця 1. Механічні характеристики зразків до і після ХТО

Режим ХТО	σ_b , МПа	Видовження, мм
Без ХТО	450,2±7,0	2,00±0,05
<i>P1</i>	449,0±4,5	1,80±0,03
<i>P2</i>	432,8±3,7	2,27±0,02

Відповідно до отриманих результатів досліджень на початковому етапі окиснення маємо досить високу і практично однакову швидкість приросту маси зразків (див. рис. 1). Потім швидкість дещо знижується (~ в 1,5-2 рази), а після 60-70 годин окиснення спостерігається початок наростання швидкості приросту маси. Ці три стадії особливо помітні при дослідженні зразка у вихідному стані (без ХТО). Зазначимо, що після витримки протягом 100 годин зразки трубки, які пройшли ХТО, мають менший приріст маси в порівнянні з необробленими зразками (без ХТО). Так, для зразків, оброблених за режимом *P2* приріст маси нижче приблизно на 20%. Тобто, ХТО змінює характер залежності приросту маси від часу і підвищує стійкість матеріалу до окиснення.

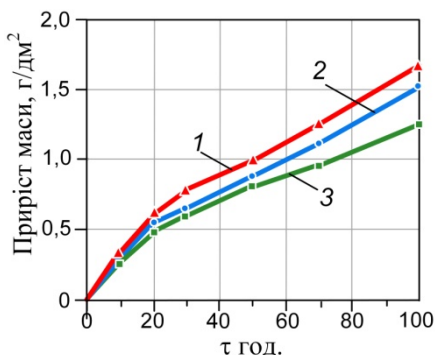


Рис. 1. Залежність приросту маси зразків сплаву Zr-1%Nb від часу окиснення на повітрі при $T = 550^{\circ}\text{C}$: 1 – без ХТО, 2 – режим P1, 3 – режим P2.

4. Висновки

Показано, що хіміко-термічна обробка ТВЕЛЬних трубок зі сплаву Zr-1%Nb у кисневмісному газовому середовищі підвищує їх опірність окисненню впродовж 100 год на повітрі за температури 550°C не погіршуючи механічні властивості (границю міцності, видовження). ХТО у кисневмісному газовому середовищі упродовж 3 год. при температурі 580°C зменшує на 20%, відносно зразків без ХТО, приріст маси при окисненні зразків зі сплаву Zr-1%Nb.

Список посилань

1. Lemaignan C., Motta A.T. Zirconium Alloys in Nuclear Applications. In book: Materials Science and Technology. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KgaA, 2006. – P. 2-51. DOI: 10.1002/9783527603978.mst0111
2. Groeschel F., Hermann A. Experiments to understand the corrosion process of fuel rod claddings // Annual Rep. PSI, Annex IV. – Villigen, Switzerland, 1996. – P. 59–64.
3. Hallstadius L., Johnson S., Lahoda E. Cladding for performance fuel // Progress in Nuclear Energy. – 2012. – Vol. 57. – P. 71-76. DOI: 10.1016/j.pnucene.2011.10.008
4. Trush V. Effect oxidation and nitriding on the properties of zirconium alloys // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2/11 (86). – P. 34-42. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.97446
5. Creep flow and fracture behavior of the oxygen-enriched alpha phase in zirconium alloys / R. Chosson. A.F. Courgues-Lorenzon, V. Vandenberghe, J.C. Brachet, J. Crepin // Scripta Materialia. – 2016. – Vol. 117. – P. 20-23.
6. Influence of interstitial elements (oxygen, nitrogen) on properties of zirconium alloys (review) / V.S. Trush, N.N. Pylypenko, P.I. Stoev, M.A. Tikhonovsky, I.M. Pohrelyuk, V.M. Fedirko, A.G. Luk'yanenko, S.M. Lavrys // Physics and Chemistry of Solid State. Section: Physics. – 2022. – Vol. 23, No. 2. – P. 401-415.

Розробка технології зварювання мішені для отримання ізотопу ^{22}Na

Фальченко Юрій^{1[0000-0002-3028-2964]}, Михайлов Леонід^{2[0009-0007-1427-6912]},
Федорчук Віктор^{1[0000-0002-9929-3231]}, Петрушинець Лідія^{1[0000-0001-7946-3056]}

¹ Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,
вул. Малевича, 11, Київ, 03150, Україна.

² Інститут ядерних досліджень НАН України,
пр-т Науки, 47, Київ, 03028, Україна
moremia2@ukr.net

Анотація. Проведено дослідження з дифузійного зварювання в вакуумі магнію МА2-1 зі сплавом алюмінію АМг2. Визначено вплив температури зварювання та проміжного прошарку з цинку на формування зони з'єднання. Проведено металографічні дослідження зварних з'єднань. Встановлено, що при безпосередньому зварюванні сплаву МА2-1 з АМг2 в зоні з'єднання в результаті взаємної дифузії утворюється крихкі інтерметалідні прошарки, які обумовлюють розтріскування з'єднань. Показано, що застосування прошарку з цинку та зниження температури зварювання з 420 °С до 340 °С дозволяє отримати зварні з'єднання без утворення в стику евтектичних прошарків або крихких інтерметалідних шарів. На основі проведених досліджень отримано біметалеві мішені, що складаються зі смужки магнію, яка підлягає опромінюванню протонами, та привареної до неї охолоджуваної водою камери зі сплаву алюмінію.

Ключові слова: дифузійне зварювання, магній, алюміній, мікроструктура, проміжний прошарок, зварне з'єднання.

Ізохронний циклотрон У-240 ІЯД НАН України – єдиний діючий прискорювач, який перебиває необхідний діапазон енергій і на якому можна здійснювати напрацювання практично усіх циклотронних радіоізотопів, які широко застосовуються в народному господарстві та ядерній медицині: ^{22}Na , ^{68}Ge , ^{82}Sr , ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl та інші. Для напрацювання радіонуклідів ^{22}Na з ядерної реакції $^{24}\text{Mg}(p, ^3\text{He})^{22}\text{Na}$ була розроблена конструкція мішені для опромінювання пучком протонів. Для отримання ^{22}Na з періодом напіврозпаду $t = 2,6$ року, необхідної активності $A=10$ мкКі опромінення має проводитись протонами з енергією $E = 72\text{MeV}$, током $I = 50\text{мкА}$, часом опромінення близько 5,4 години. Конструкція мішені складається з опромінюваної протонами смужки магнію, яку приварено до охолоджуваного водою корпусу зі сплаву алюмінію. В роботі розглядається можливість застосування методу дифузійного зварювання в вакуумі сплаву магнію МА2-

І зі сплавом алюмінію АМг2.

Відомо, що способи зварювання плавленням (аргонодугове, лазерне, електронно-променево) та в зварювання в твердій фазі (вибухом, дифузійне) мають безпосередній вплив на механічні та фізичні властивостями з'єднань. Зокрема, при зварюванні алюмінієвого сплаву з магнієвим виникає проблема утворення крихких інтерметалідних сполук, які негативно впливають на міцність з'єднання. Безпосереднє зварювання плавленням може призвести до утворення пор, мікротріщин та окисних включень в шві та зоні сплавлення. При цьому в шві формуються крихкі інтерметалідні сполуки, такі як Al_3Mg_2 та $Al_{12}Mg_{17}$.

Застосування методів зварювання в твердій фазі дозволяє краще контролювати процес утворення інтерметалідів. З цієї точки зору, дифузійне зварювання є перспективним методом для отримання біметалевих Al-Mg мішеней, оскільки не вимагає плавлення основного металу та дозволяє з'єднувати елементи складної форми, які не потребують значної механічної обробки після зварювання.

Дифузійне зварювання в вакуумі проводили в інтервалі температур 340-420 °С, з витримкою 30 хвилин і значенням тиску 10 МПа. Зварювання проводили без використання прошарків та з прошарком цинку товщиною 200 мкм.

Отримати з'єднання сплаву МА2-1 з АМг2 без проміжних прошарків при 420 °С не вдалося: з'єднання руйнувалось на стадії підготовки шліфів. При температурі зварювання 400 °С в зоні з'єднання в результаті взаємної дифузії утворюється два шари (рис. 1, а). Перший шар з боку сплаву МА2-1 має товщину 15 мкм і відповідно до подвійної діаграми стану складається з твердого розчину алюмінію в магнії та інтерметалідів $Al_{12}Mg_{17}$. Другий шар має товщину 50 мкм і складається з суміші інтерметалідів $Al_{12}Mg_{17}$ і Al_3Mg_2 . Через низьку пластичність даного шару відбувається його розтріскування. Подальше зниження температури не дозволяє отримати зварні з'єднання.

При зварюванні через прошарок з чистого Zn за температури 420 °С відбувається взаємодія цинкового прошарку з магнієвим сплавом з утворенням рідкої фази, яка частково видавлюється зі стику (рис. 1, б). Це пов'язане з тим, що в системі Al-Zn мінімальна температура існування рідкої фази становить 381 °С, а в системі Mg-Zn – 347 °С. В результаті чого, в першу чергу, цинк з прошарку взаємодіє з магнієм з утворенням складного сплаву, якій містить Mg – 24,08Al – 28,67Zn, % ваг. Як показали подальші дослідження в таких зразках відбувається повне руйнування одного зі зварюваних сплавів, а саме сплаву МА2-1.

Зниження температури зварювання до 360 °С призводить до утворення в стику 5 шарів (рис. 1в). В першому шарі з боку АМг2 товщину 11-20 мкм спостерігається дифузія цинку в алюміній з утворенням сплаву на основі цинку (Zn – 22,27Al – 1,44Mg, % ваг.). Другий і третій шари товщиною відповідно 44-54 мкм і 5 мкм за складом близькі до вихідної цинкової

фольги. Четвертий шар товщиною 27 мкм складається зі сплаву на основі цинку ($Zn - 0,81Al - 16,72Mg$, % ваг.). П'ятий шар товщиною 38 мкм формується безпосередньо на границі контакту зі сплавом МА2-1. В результаті утворюється сплав з суміші інтерметаліду $MgZn$ з евтектикою $Mg-Zn$. Наявність евтектики підтверджується характерною структурою прошарку.

Подальше зниження температури до $340\text{ }^{\circ}C$ дозволяє отримати бездефектне з'єднання (рис. 1г). В стикі спостерігається утворення чотирьох шарів. В першому шарі від АМг2 спостерігається дифузія цинку в алюміній з утворенням сплаву на основі алюмінію ($Al - 27,31Zn$, % ваг.) товщиною до 7 мкм. Другий шар товщиною 135 мкм за складом відповідає цинковій фользі. В третьому шарі спостерігається дифузія магнію з утворенням сплаву $Zn - 4Mg$, % ваг. товщиною 6 мкм. Безпосередньо в зоні контакту цинкової фольги зі сплавом МА2-1 (четвертий шар) утворюється сплав на основі інтерметаліду Mg_2Zn_{11} товщиною 22 мкм.

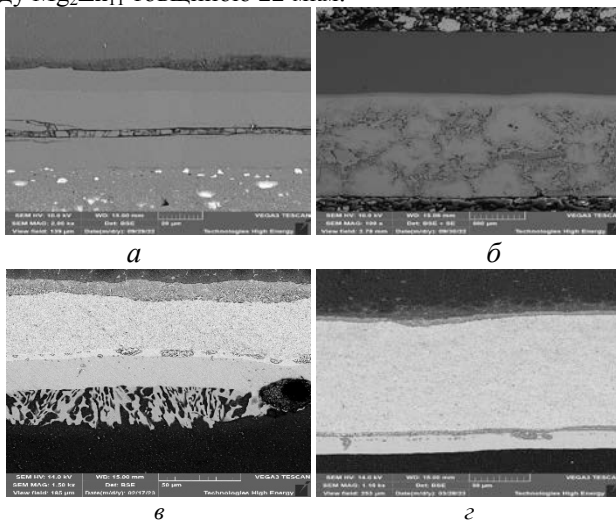


Рис. 1. Мікроструктура зварного з'єднання МА2-1 + АМг2, отриманого безпосередньо (а) та через прошарок з Zn (б, в, г) на режимі:
 а – $T = 400\text{ }^{\circ}C$, $P = 10\text{ МПа}$, $t = 30\text{ хв}$; б – $T = 420\text{ }^{\circ}C$, $P = 10\text{ МПа}$, $t = 30\text{ хв}$;
 в – $T = 360\text{ }^{\circ}C$, $P = 10\text{ МПа}$, $t = 30\text{ хв}$; г – $T = 340\text{ }^{\circ}C$, $P = 10\text{ МПа}$, $t = 30\text{ хв}$.

Таким чином, можна зробити висновок, що використання при дифузійному зварюванні магнію МА2-1 зі сплавом алюмінію АМг2 фольги з цинку дозволяє отримати зварні з'єднання без утворення в стикі евтектичних прошарків або крихких інтерметалідних шарів.

На основі проведених досліджень отримано біметалеві мішені, що складаються зі смужки магнію, яка підлягає опромінюванню протонами, та привареної до неї охолоджуваної водою камери зі сплаву алюмінію.

Технологічні особливості термо-механічного зварювання листових конструкцій

Фещук Юрій ^[0000-0001-6259-1916], Рибальченко Віталій ^[0009-0006-1600-5932],
Кашицький Віталій ^[0000-0003-2346-912X], Мельничук Микола ^[0000-0001-6813-250X]

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
y.feshchuk@lntu.edu.ua

Анотація. Встановлено оптимальний режим формування міцних зварних з'єднань методом термо-механічного зварювання з використанням проміжних тонких фольг. Визначено мінімальне значення зусилля стискування, що дозволяє наблизити поверхні листових конструкцій без формування усадочної раковини та зварювального кратеру. Застосування проміжного шару тонкої фольги, що отримана методом електронно-променевого осадження, дозволяє ініціювати термічний процес виділення теплової енергії, яка достатня для формування міцного зварного з'єднання.

Ключові слова: проміжний шар, тонка фольга, усадочна раковина, зусилля стискування.

1. Вступ

Технологічний процес зварювання листових конструкцій термо-механічним методом передбачає застосування оптимальної величини зусилля стискування, що забезпечує наближення та безпосередній контакт локальних ділянок для формування міцного зварювального шва. Однак застосування такого зусилля в більшості випадків призводить до утворення кратерів, які погіршують зовнішній вигляд поверхонь листових конструкцій.

Використання додаткових матеріалів у вигляді багаточарових плівок призводить до генерації високотемпературної енергії в зоні формування зварного з'єднання металів на основі систем Cu-Ti та Ni-Ti, що забезпечує перехід металу у рідкий стан без утворення усадкових раковин та прикладення додаткового зусилля стискування. Встановлено, що застосування багаточарової фольги (Ni/Ti, Cu/Ti) як прошарку дозволяє істотно зменшити градієнт значень мікротвердості в стиковому з'єднанні [1].

Наночарові плівки забезпечують формування різнорідних зварних з'єднань сплавів на основі системи «титан-алюміній» з жароміцними сплавами. Визначено, що застосування прошарку дозволяє утворити в зоні зварного з'єднання область з рівномірною зміною хімічного складу в зоні

з'єднання [2]. Тонкі фольги являють собою гетерогенні вакуумні покриття, які отримують за допомогою електронно-променевого фізичного осадження з парів металів [3].

2. Результати досліджень

За рахунок розташування між листовими конструкціями в зоні точкового зварювання тонкої фольги відбувається процес ініціювання термічної реакції з виділенням теплової енергії достатньої для переведення металу зварювальних деталей у пластичних стан. Визначено оптимальну силу струму в місці контакту зварних деталей, що дозволяє виділити достатню теплову енергію для ініціювання високотемпературного синтезу. При цьому відбувається розплавлення поверхневого шару з утворенням міцного точкового зварного з'єднання без прикладання значного зусилля стискування. Використання тонкої фольги на основі сплаву «нікель-алюміній» дозволяє зменшити величину зусилля стискування на 35-45 %.

Зварне з'єднання формується у вигляді ділянки округлої форми з формуванням однорідної структури в результаті рівномірного розподілу теплової енергії в процесі кристалізації розплавленого металу. Зовнішня поверхня деталей не піддається локальній деформації під впливом електродів зварної машини, що забезпечує високу якість поверхневого шару.

Список посилань

1. Application of multilayer foils based on Cu-Ti and Ni-Ti systems in diffusion welding of titanium aluminide with nickel alloy / Petrushynets, L.V., Ustinov, A.I., Falchenko, I.V., Novomlynets, O.O., Fedorchuk, V.E. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 - Conference Proceedings, 2021, pp. 245-248.
2. Vacuum diffusion welding of intermetallic alloy -TiAl with high-temperature alloy EI437B through nanolayered interlayers / Petrushynets, L.V., Falchenko, I.V., Ustinov, A.I., Novomlynets, O.O., Yushchenko, S.M. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019 - Proceedings, 2019, pp. 542-546.
3. Dissipative properties of Al-(Fe, Cr) vacuum coatings with different composite structures / Skorodzievskii, V.S., Ustinov, A.I., Polishchuk, S.S., Demchenkov, S.A., Telychko, V.O. // Surface and Coatings Technology, 2019, 367, pp. 179-186.

Методи оцінки субтрактивно-адитивного виробництва

Цибуленко Всеволод, Воронцов Борис

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського»
momosc2tv@gmail.com

Анотація. «Субтрактивне виробництво» є важливою частиною традиційної індустрії прецизійної обробки, а одним із найбільш представницьких напрямків є обробка та виробництво на багатоосьових станках. «Адитивне виробництво» — це новий метод мілкосерійного виробництва і обробки, що з'явився за останні 30 років. Його репрезентативна перевага полягає в тому, що йому не потрібно спеціально виробляти форми, якщо його можна обробляти напрямом, але час обробки більше і може бути оброблено негайно. Кількість заготовок також відносно обмежено. Однак, оскільки вимоги до точності продовжують рости, ці два методи виробництва зазвичай іноді не відрізняють. В деяких документах навіть говориться: це два абсолютно різних метода виготовлення. Не можна використовувати один і той же метод для оцінки якості. Однак, виходячи з практичних зображень, ці два способи виробництва та обробки часто повинні виконуватися одночасно або взаємодіяти, що викликає серйозну проблему в промисловій обробці. Необхідність «субтрактивного виробництва» та «адитивного виробництва» одночасно є необхідністю, і така переплетена обробка, здається, стала трендом. Однак, як постійно покращувати обробку в розумний спосіб? Кваліфіковане покращення продуктивності має бути оцінено об'єктивно, а безперервний перегляд і вдосконалення повинні здійснюватися на основі ідентифікованих і кількісно визначених оцінок ефективності. Ефективно визначення причини можливих дефектів, дозволяє зробити можливим безперервне вдосконалення, що робить невизначеність прогнозування ефективності важливою проблемою.

Ключові слова: субтрактивне виробництво, адитивне виробництво, багатотиповий верстат.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка проблеми

1.1. Постановка проблеми

Адитивне виробництво вибирається для деталей підвищеної складності, щоб отримати геометричну свободу побудови деталей із складними внутрішніми

структурами та функціями. Субтрактивне виробництво забезпечує високу продуктивність та жорсткі допуски на деталі звичайної форми. Для суворіших допусків використовуються традиційні методи. Лазерне адитивне виробництво створює деталь шар за шаром, але процес повільніший, ніж традиційне ЧПУ обробки металу. Для збільшення продуктивності можна збільшити товщину кожного шару, але це позначиться на обробці поверхні. Гібридне виробництво між адитивним та субтрактивним методами може бути оптимальним рішенням.

1.2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато різних методів обробки для «субтрактивного виробництва», але якщо говорити про точність і простоту впровадження, першочерговим вибором будуть багатоосьові верстати. У 2020 році Chen C. та ін. [1] у субтрактивному виробництві деталь обробляється з цифрової моделі, щоб отримати остаточну 3D-модель і залишковий матеріал, але в адитивному виробництві необхідна кількість матеріалу наноситься шар за шаром. З цього можна побачити, що є переваги як у «субтрактивному виробництві», так і в «адитивному виробництві».

Причиною того, що адитивне та субтрактивне виробництво нелегко оцінити разом, є нетрадиційний технологічний процес. Візьміть сьогоднішню обробку як приклад. До так званої нетрадиційної обробки належать: в адитивному виробництві вона не виконується на багатоосьових верстатах, а лазерний 3D-друк SLM не є основним методом субтрактивного виробництва.

У 2019 році XIAO, Mi. та ін. [2] повідомили, що у складних інженерних системах можна створювати різні метамоделі з використанням різних методів моделювання компонентів. Найкраща метамодель для кількісної оцінки цієї невизначеності та включення її у вибір метамоделі є теоремою Байєса разом з адитивним поправочним коефіцієнтом. З 2016 до 2017 року Chang, H.-J. та ін. [3] використовували статистичний метод Тагучі для оцінки прямого руху різання та аналізу сили різання моделі форми усіченого конуса та моделі форми піраміди для аналізу положення обробки. Відношення сигнал/шум виходить шляхом порівняння значення MA та методу Тагучі. Це сприяє подальшому розвитку штучного інтелекту (AI). У 2018 році Хан Джуї Чанг [4-5] припустив, що RPE(Оцінка впізнаної ефективності) може наблизитися до справжнього загального середнього значення за умови поступової корекції і використовував існуючі дані для зміни існуючих думок, використовуючи статистичні звіти для оцінки верстатів з ЧПУ з різними осями. Ці звіти включають пряму візуальну оцінку та нечіткі теоретичні операції. Ці корисні та практичні методи оцінки застосовуються до різних типів верстатів, тому їх також можна використовувати для спільних процесів та загальної оцінки продуктивності верстатів.

У 2019 Chang HJ [6] розглянув різні методи оцінки продуктивності п'ятиосових верстатів за допомогою ідентифікації та багатотипного порівняння, з яких RPE є найбільш практичним. RPE в даний час є одним із методів дослідження, який дозволяє отримувати точні довідкові дані за допомогою кількісних та ідентифікаційних методів, а також є одним із методів оцінки багатотипних п'ятиосових верстатних методів. Метод відомої оцінки продуктивності (RPE) має такі характеристики:

1) Методи крос-процесингу «субтрактивне виробництво» та «адитивне виробництво».

2) Матеріал поперечної заготовки (наприклад, метал, кераміка, полімер).

3) Можна визначити різні фізичні фактори «методу перехресної обробки та матеріалу заготовки».

4) Може використовуватися як основа для подальшої розробки штучного інтелекту (AI).

Список посилань

1. CHEN, Cheng, et al. Additive manufacturing of piezoelectric materials. *Advanced Functional Materials*, 2020, 30:52: 2005141. URL: <https://doi.org/10.1002/adfm.202005141>
2. XIAO, Mi, et al. An effective method for quantifying and incorporating uncertainty in metamodel selection. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2019, 33: 1279-1291. URL: <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0228-y>
3. CHANG, Han-Jui; CHEN, Shang-Liang; LEE, Po-Yi. Direct cutting of a pyramid part to evaluate a five-axis machine tool with the Taguchi method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, 91: 315-325. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9573-5>
4. CHANG, Han-Jui; CHEN, Shang-Liang; LEE, Po-Yi. Using the direct cutting paths approach on aluminum alloy cone frustum part for evaluating a five-axis machine tool with Taguchi method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2017, 231.5: 881-888. URL: <https://doi.dox.org/10.1177/0954405416673096>
5. CHANG, Han-Jui; CHEN, Shang-Liang; LEE, Po-Yi. Applying a pyramid part in the performance evaluation of multiple types of five axis machine tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, 92: 2247-2253. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0281-6>.
6. CHANG, Han-Jui. Performance evaluation of multi-type five-axis machine tool with recognizable performance evaluation by fuzzy theory. In: *2019 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Qingdao)*. IEEE, 2019. p. 1-5. URL: <https://doi.org/10.1109/PHM-Qingdao46334.2019.8942966>

Відновлення та зміцнення деталей машин зносостійкими покриттями

Черновол Михайло ^[0000-0003-3048-6833], Шепеленко Ігор ^[0000-0003-1251-1687],
Магопець Сергій ^[0000-0002-1522-4555]

Центральноукраїнський національний технічний університет,
пр. Університетський, 8, Кропивницький, 25006, Україна
kntucpfzk@gmail.com

Анотація. Розглянуто класифікацію покриттів, що широко використовуються в машинобудуванні для відновлення та зміцнення деталей, за наступними ознаками: вид матеріалу та структури; призначення покриття та спосіб його формування. Проаналізовані технологічні можливості зовнішніх та внутрішніх покриттів. З позицій відновлення деталей практичне значення мають зовнішні покриття, які дозволяють збільшувати розміри деталі на товщину осадженого шару. Для зміцнення деталей найефективніші – внутрішні покриття, для яких характерні високі значення когезійної міцності матеріалу. Зазначені особливості утворення металевих та неметалевих покриттів, а для підвищення якості поверхневого шару – багатокомпонентних покриттів, які містять металеві та неметалеві складові. Особливу увагу приділено утворенню композиційних покриттів, розглянуто основні етапи їх проєктування. Підкреслено, що задля відновлення та зміцнення деталей практичне значення мають зносостійкі покриття. Аналіз їх можливостей дозволив стверджувати про доцільність застосування покриттів, отриманим наплавленням та напиленням. Зазначено ефективність утворення покриттів комбінованою обробкою, що дозволяє поєднувати переваги різних методів.

Ключові слова: Класифікація покриттів, Відновлення та зміцнення деталей, Комбінована обробка.

Існує точка зору, що задля підвищення надійності та ресурсу необхідно, щоб кожна деталь, незалежно від матеріалу виготовлення, мала захисне покриття відповідно до свого прямого призначення та умов експлуатації [1]. Таке твердження пов'язане з можливістю забезпечення нової якості деталі за рахунок підвищення її довговічності, покращення тепло- і електрофізичних та інших властивостей.

За зміною фізико-хімічних властивостей вихідних поверхонь виробу розрізняють зовнішні, внутрішні та комбіновані покриття. При нанесенні зовнішніх покриттів габаритні розміри деталі збільшуються на товщину шару покриття. При нанесенні внутрішніх покриттів зберігаються розміри деталей, а зміна властивостей відбувається за рахунок модифікування зовнішнього

шару деталей. Таким чином, з позиції відновлення деталей практичне значення мають саме зовнішні покриття, а для зміцнення – внутрішні покриття.

Існуючі численні способи нанесення покриттів можна класифікувати за різними властивостями. Об'єктом нашої уваги стали покриття, що знайшли широке використання в машинобудуванні при відновленні та зміцненні деталей. При цьому доцільним виглядає класифікація покриттів за наступними ознаками: вид матеріалу та структури; призначення покриття та спосіб його утворення.

За видом матеріалу покриття найчастіше поділяють на металеві та неметалеві [2]. Металеві покриття можна утворити з усіх металів та їх сплавів. Неметалеві покриття дуже різноманітні й виконуються з органічних і неорганічних матеріалів природного та штучного походження. Для відновлення і зміцнення деталей машин найчастіше використовують кераміку і полімери (пластмаси).

Цілком природним етапом розвитку теорії та практики підвищення якості поверхневого шару деталей стала поява багатокомпонентних покриттів, які містять у своєму складі як металеві, так і неметалеві складові. Покриття, які утворюються на поверхні деталей на основі поєднання основних класів матеріалів – металу, кераміки та полімеру найчастіше називають композиційними [3]. Більш широким поняттям є гетерогенні покриття, тобто покриття, що мають гетерогенну структуру неоднорідного матеріалу, елементи якого розподілені в середньому нерівномірно. До гетерогенних покриттів відносяться і дискретні покриття, в яких традиційний суцільний шар замінено на переривчастий мозаїчно-дискретної «острівцевої» структури [4]. У зв'язку з появою багатокомпонентних покриттів виникла необхідність їх проектування (конструювання). Наприклад, проектування композиційного покриття (КП) складатиметься з таких основних етапів [3]: вибір матеріалів основи та компонентів КП, визначення структурних характеристик КП (виду наповнювача, об'ємного вмісту, сумісності, схеми армування та ін.).

За призначенням покриття, найчастіше, поділяють на: захисні, конструкційні, технологічні, декоративні, відновлювальні та ін. [5]. З позиції відновлення і зміцнення деталей машин практичне значення мають захисні (зносостійкі, корозійностійкі, жаростійкі та ін.) і відновлювальні покриття.

За способом формування внутрішні покриття можна розділити на: твердофазні, рідиннофазні, порошкові та атомарні [6]. Кожен із зазначених методів поділяється на цілу низку технологічних способів утворення покриттів. Способи формування внутрішніх покриттів визначаються видами поверхневого модифікування деталей машин [7].

При відновленні та зміцненні деталей машин особливого значення набувають технологічні можливості методів утворення зносостійких покриттів. Дані, наведені в [8], дозволяють стверджувати про ефективність

покриттів, нанесених методами наплавлення та напилення. Для досягнення більш високих експлуатаційних властивостей деталей найбільш доцільним виглядають покриття, отримані комбінованою обробкою завдяки поєднання переваг різних методів, зокрема нанесення покриттів та подальше їх зміцнення, що переконливо доведено в наших попередніх працях [9, 10].

Список посилань

1. Черновол М.И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения/ М.И. Черновол, И.В. Шепеленко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, 2012. – Вип.25 (1). – С. 3-8.
2. Чернец М.В. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии/ М.В. Чернец, Л.П. Клименко, М.И. Пашечко. – Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.
3. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями. – К.: «Вища школа», 1992 – 79 с.
4. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении: монография/ Е.К. Соловых. – Кировоград, КОД, 2012. – 92 с.
5. Дерябкина Е.С. Дослідження впливу способу нанесення покриттів на якість відновлених деталей засобів транспорту/ Е.С. Дерябкина//Машинобудування, 2019. – Вип. 23. – С.100-106.
6. Триботехнология: словарь-справочник / С.Н.Соловьев, Л.П.Клименко, С.Ж. Буду, Е.В.Трофимова; под общ.ред. С.Н.Соловьева. – Николаев: НГТУ им. П.Могилы, 2003 – 384 с.
7. Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин/ Ю.А. Харламов, Н.А. Будагянц. – Луганск: изд-во Восточно-укр. национ. ун-та им.В.Даля, 2003. – 480 с.
8. Лузан С.О. Обґрунтування економічної доцільності і ефективності відновлюваного наплавлення деталей композиційними матеріалами/ С.А. Лузан// Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів. 2020. №22. – С.272-280.
9. Шепеленко І.В. Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко // *Mechanics and Advanced Technologies*, 2022. – 6(1). – С.24-30. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.1.255655>.
10. Шепеленко І.В. Технологія зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів із забезпеченням їх антифрикційних властивостей/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко// *Технологія і техніка друкарства*, 2022 – 1(75). – С. 29-36. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.266644](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.266644).

Закономірності структуроутворення при науглецюванні ванадієвих сплавів в ізотермічних умовах

Чорноіваненко Катерина ^[0000-0003-1613-7784]

Український державний університет науки і технологій,
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010, Україна
ekatmovchan@gmail.com

Анотація. Розглянуто можливості удосконалення структури ванадієвих сплавів. Досліджено структуроутворення при науглецюванні залізних сплавів, легованих ванадієм, яке призводить при певних концентраційних і температурних умовах до зростання аустенітно-карбідних спрямованих структур, що представляють собою природний композит. Розглянуто можливість використання фазової реакції $\alpha \rightarrow \gamma + VC$ при науглецюванні ванадієвих сплавів для формування в поверхневому шарі аустенітно-карбідних колоній. Показана можливість зміцнення науглецьованих Fe-V сплавів при формуванні бейнітних структур. Встановлено, що найбільш сприятливою для науглецювання є сталь, що містить 1,75 %V, науглецювання її при температурі 1100 °C протягом 3-х годин забезпечує твердість поверхневого робочого шару товщиною 2...3 мм на рівні 66 HRC.

Ключові слова: науглецювання, структуроутворення, ванадієві сплави, колонії, бейніт.

Ванадій відноситься до групи елементів, які утворюють у сталях тверді тугоплавкі монокарбіди (TiC, ZrC, HfC, VC, NbC, TaC). Мікротвердість карбіду VC становить близько 2500 Нц [1], у зв'язку з цим сталі, леговані ванадієм, мають високу твердість та зносостійкість. Одна з найбільш цінних якостей ванадію, як легуючого елемента в сталі, - його здатність подрібнювати зерно, що пов'язане з утворенням бар'єрів у вигляді карбідів ванадію, який важко розчиняється в аустеніті. Діаграми ізотермічного розпаду аустеніту ванадієвих сталей мають два ступені розпаду – перлітну та бейнітну, стійкість аустеніту ванадієвих сталей при переохолодженні підвищується, глибина загартованого шару збільшується [2]. Таким чином, зміцнення робочого шару сталі, легової ванадієм, може мати різні варіанти, але в будь-якому випадку позитивно впливає на структуру.

Одним із способів одержання на поверхні виробу рівномірно розподілених дисперсних карбідів є науглецювання низьковуглецевих

ванадієвих сталей. Крім того, можливе використання фазової реакції $\alpha \rightarrow \gamma + VC$ при науглецюванні для формування в поверхневому шарі структури природного композиту [3, 4]. Така реакція здійснюється за умови, що склад сплаву, що змінюється по концентрації вуглецю, перетинає феритний кут конодного трикутника $\alpha + \gamma + VC$ на ізотермічному перерізі діаграми стану Fe-V-C. Відбувається спільне спрямоване зростання аустеніту та волокон VC, що армують аустенітну матрицю. Після загартування матриці на мартенсит, за рахунок спрямованості армуючих карбідних волокон, поверхневий шар набуває високої зносостійкості.

Розглянемо структуроутворення при науглецюванні залізних сплавів, легованих ванадієм, яке призводить у певних умовах до зростання аустенітно-карбідних спрямованих структур.

Дослідження проводили на сплавах, що містять 3,22 та 1,75 %V, що були науглецьовані при температурі 1100 °С.

Встановлено, що поверхневий шар науглецьованих Fe-V сплавів може бути зміцнений або аустенітно-карбідними колоніями на базі карбіду VC (рис. 1, *a*), або за типом бейнітних структур (рис. 1, *б*).

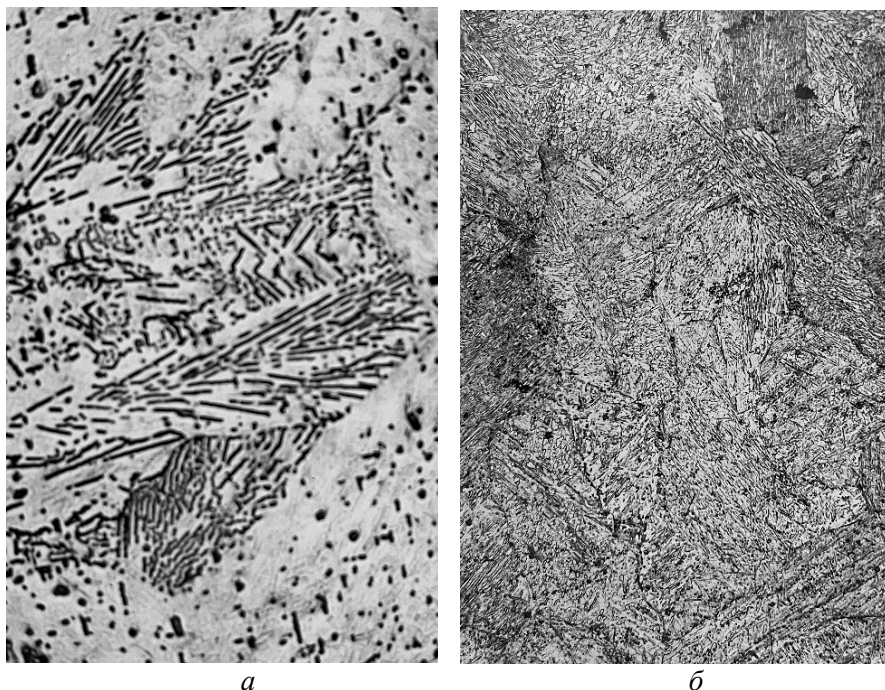


Рис. 1. Мікроструктура дифузійної зони ванадієвого сплаву після науглецювання: *a* – аустенітно-карбідні колонії, $\times 500$; *б* – бейнітна структура, $\times 200$

Зміцнення поверхневого шару аустенітно-карбідними колоніями на базі карбіду VC, забезпечуючи рівномірність розподілу карбідної фази, дає підвищення твердості до 56...66 HRC. Зміцнення поверхневого шару за типом бейнітних структур, коли провідну роль грає $\alpha \rightarrow \gamma$ перекристалізація при науглецюванні, яка формується переважно у вигляді голчастої складової, дає збільшення твердості до 66...70 HRC. При цьому якщо загальна товщина дифузійної зони становить 3 мм, то на глибині 1,5 мм твердість зберігається на рівні 66 HRC. Наступний відпуск при 560 °C по 1 годині кожен однозначно знижує твердість дифузійних шарів досліджуваних сплавів на 5...7 одиниць HRC.

Показано, що найбільш сприятливою для науглецювання є сталь, що містить 1,75 %V. Навуглецювання її при 1100 °C протягом 3-х годин не вимагає проведення додаткового відпуску. Загартуванням від температури нагріву під науглецювання забезпечує твердість поверхневого робочого шару товщиною 2...3 мм на рівні 66 HRC.

Список посилань

1. Андриевский, Р. А. Прочность тугоплавких соединений / Р.А. Андриевский, А.Г. Ланин, Г.А. Ромашевский. – М.: Металлургия, 1974. 232 с.
2. Huang, W. A Thermodynamic Evaluation of the Fe-V-C System / W. Huang. – Z. Metallkd., 1991 (82), 391 p.
3. Мовчан, В.И. Рост карбидных волокон при диффузионном науглероживании железных сплавов / В.И. Мовчан, Л.Г. Педан, В.П. Герасименко // МиТОМ. – 1983. – №9. – С. 19-21.
4. Гавриленко, В.М. Стрoение аустенито-карбидных колоний в науглерoженных сплавах Fe-V / В.М. Гавриленко, В.П. Герасименко, В.И. Мовчан // Изв. АН СССР. Металлы. – 1984. – №3. – С. 71-73.

Гідравлічний однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму

Шаповал Микола ^[0000-0002-6943-7687], Вірченко Віктор ^[0000-0002-5346-9545],
Криворот Анатолій ^[0000-0001-5919-7352], Михайлик В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Першотравневий проспект, 24, Полтава, 36011, Україна
nvshapoval75@ukr.net

Анотація. Проведено аналіз існуючих конструкцій розчинонасосів, вказані основні недоліки і переваги їх експлуатаційних показників. Визначено основні напрямки розвитку нових конструкцій розчинонасосів. Запропоновано нову конструкцію однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму та з гідравлічним приводом. Наведено конструктивні особливості розчинонасоса та принцип його роботи. Розкриті конструктивні особливості компенсатора збільшеного об'єму, усмоктувальної камери та камери охолодження циліндро-поршневої групи. Вказані конструктивні особливості клапанних вузлів та вказані їх раціональні параметри, які забезпечать мінімальні зворотні витоки розчинів різної рухомості при використанні гідравлічного привода, котрий забезпечить постійну швидкість робочого органа. За результатами досліджень встановлено, що однопоршневий гідроприводний розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму показав себе ефективнішим.

Ключові слова: однопоршневий розчинонасос, гідравлічний привод, всмоктувальна камера, всмоктувальний та нагнітальний клапани, тиск в нагнітальному патрубку, компенсатор збільшеного об'єму.

1. Вступ

Аналіз роботи діючих розчинонасосів показав [1, 2] про необхідність створення розчинонасоса простої конструкції для стабільного перекачування по трубопроводах будівельних розчинів зниженої рухомості при помірних пульсаціях подачі та високій надійності їх роботи завдяки використанню комбінованих компенсаторів закритого типу.

Існує однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму [1, 2, 3], який має електромеханічний привод і розроблений в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка. Даний розчинонасос зарекомендував себе, як надійну і високоефективну об'ємну машину для перекачування розчинів різної рухомості. Але для підвищення технічних показників необхідне впровадження у конструкцію розчинонасоса гідропривода, який забезпечить

постійну швидкість поршня зворотного-поступального руху, як в такті всмоктування так і в такті нагнітання, що позитивно вплине на всмоктувальну здатність розчинонасоса, особливо при перекачуванні розчинів зниженої рухомості П8...9 см, та зменшить зворотні витоки через всмоктувальний та нагнітальний клапани.

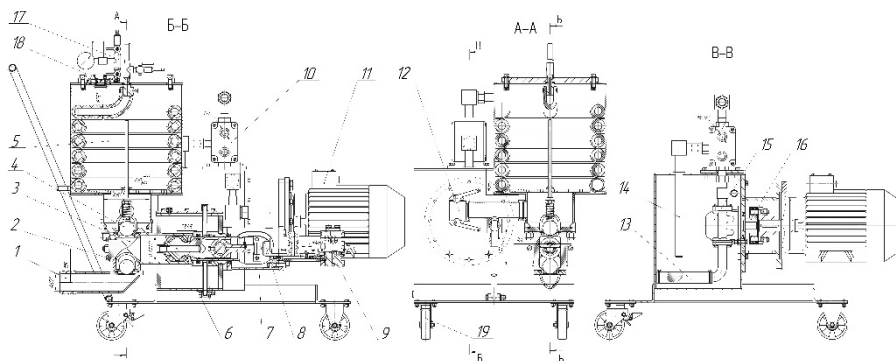


Рис. 1. Конструктивна схема однопоршневого гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму

1, 12 – усмоктувальний та нагнітальний патрубок; 2, 4 – всмоктувальний та нагнітальний підпружинений кулькові клапани; 3 – усмоктувальна камера; 5 – комбінований компенсатор; 6 – поршень з направляючим плунжером; 7 – хомут гідрравлічний привідний циліндр з розподілювачем; 8 – гідроциліндр з поршнем і штоком; 9 – золотниковий розподільник; 10 – регулятор подачі гідрравлічної рідини; 11 – електродвигун; 13 – фільтр мастильної рідини; 14 – патрубок скидання гідрравлічної рідини; 15 – шестерневий гідрравлічний насос; 16 – муфта втулково-пальцева; 17 – редуктор підкачки повітря; 18 – скляне віконце з освітленням

2. Конструктивні особливості розчинонасоса з гідрравлічним приводом

Пропонується конструкція розчинонасоса одинарної дії з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму (рис. 1), що містить усмоктувальну камеру 3, в середині якої розміщено спеціальну циліндричну вставку, зрізана частина якої має сегментну форму з дотичною хордою під кутом 45° до горизонталі, патрубки всмоктувальний 1 та нагнітальний 12, всмоктувальний 2 та нагнітальний підпружинений 4 кулькові клапани, робочий циліндр 6 з поршнем і повзуном, який омивається у штоковій порожнині промивною рідиною (мильно-масляно-водною емульсією). Привод розчинонасоса оснащено гідроциліндром 8 з поршнем і штоком, що має порожнину з внутрішнім буртиком. Поршень гідроциліндра 8 установлений опозитно по відношенню до поршня і розділяє гідроциліндр на поршневу й штокову порожнини. Золотниковий розподільник 9 розташований у верхній порожнині гідроциліндра й містить два двохпояскових диференціальних

золотники – основний і золотник керування. Останній установлений співвісно з поршнем гідроциліндра і містить хвостовик. З'єднання штоків здійснюється за допомогою рознімного хомута 7. Штокова порожнина гідроциліндра 8 постійно з'єднана з лінією напору, а поршнева порожнина через основний золотник почергово з'єднується з лініями напору або зливу, чим і забезпечується зворотно поступальний рух поршня 6 зі штоком. Золотник керування надійно утримується в одному з робочих положень протягом усього ходу поршня 6 за рахунок високого або низького тиску масла в поршневій порожнині (яка з'єднується з лінією напору або зливу), а поблизу від мертвих точок переводиться внутрішнім буртиком через хвостовик у чергове робоче положення. Рівність швидкості ходу поршня в обидва боки забезпечується тим, що площа поршня гідроциліндра удвічі більша від площі перетину штока. Подача гідравлічної рідини по магістралям відбувається шестерневим гідравлічним насосом 15 від електродвигуна 11.

Комбінований повітряний компенсатор тиску має дві частини: циліндричну камеру, з'єднану з нагнітальною камерою, і замкнену камеру з еластичного гумотканинного шлангу, який закріплено до штуцера вузла підкачки повітря і встановлено по периметру циліндричної камери на спеціальних обмежувачах. У замкненій камері встановлено ніпель для закачування повітря під тиском 0,5...0,7 МПа за допомогою компресора. По центру циліндричної камери на направляючому стрижні встановлено поплавок-обмежувач, який забезпечує мінімальне видалення повітря з циліндричної камери.

Для збільшення приведеного компенсаційного об'єму компенсатора у верхній кришці передбачено редуктор підкачки повітря 17 у циліндричну камеру з манометром контролю тиску до тиску у замкненій камері компенсатора. Також для контролю об'єму повітря у циліндричній камері у верхній кришці встановлено скляне віконце з освітленням 18.

Відповідно зростуть основні показники розчинонасоса: продуктивність і об'ємний ККД та знизиться рівень ступеня пульсацій тиску розчину, що перекачується.

Список посилань

1. Пат. 112734 Україна, МПК F04B 11/00 Малоімпульсний насос / І.А. Ємельянова, Б. О. Коробко, М. В. Шаповал (Україна); заявник і патентовласник Полт. нац. техн. ун-т. ім. Ю. Кондратюка, № а 2015 11219; заявл. 16.11.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. №19.
2. Онищенко В. О. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві [Текст]: монографія / В. О. Онищенко, О. Г. Онищенко, С. Ф. Пічугін, та ін. // – Вид. 2-ге, доповнене. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2011. – 520 с., [16] арк. Іл.
3. Емельянова І.А. Визначення продуктивності та об'ємного ККД розчинонасоса залежно від геометричних параметрів усмоктувальної камери та компенсаторів різних конструктивних рішень: [Текст] / І.А. Емельянова, М.В. Шаповал // Науковий вісник будівництва. Т. 88, №2 – X., 2017. – С. 195-203.

Перспективи використання пересувних стрічкових машин конвеєрного типу

Шимчук Сергій ^[0000-0002-1293-560X], Півницький Микола ^[0000-0002-2250-9700],
Зайчук Наталія ^[0000-0001-6258-4820], Мартинюк Віктор ^[0000-0002-6914-2336],

Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
s.shimchuk@lntu.edu.ua

Анотація. Різного роду конвеєри та транспортери найбільш використовуються для транспортування, завантаження-розвантаження вантажів, готової продукції чи матеріалів на різні відстані (висоти). Такі машини можуть мати певні конструктивні особливості, що залежать від умов їх роботи чи продукції, що транспортується. Зазвичай найбільш використовуваними є установки стрічкового типу.

Ключові слова: конвеєри, установки стрічкового типу, стрічка.

Машини, конвеєрного типу, є дуже поширеними для виконання різного роду задач галузевого машинобудування. Зокрема вони використовуються в легкій промисловості (взуттєве виробництво, виробництво фурнітури), для транспортування сільськогосподарської продукції, лісотехнічному комплексі, вугільній та підшипниковій промисловостях.

В рамках виконання госпдогвірної тематики кафедрою галузевого машинобудування Луцького національного технічного університету № 05-02/23 від 24 лютого 2023 року було розроблено конструкцію [1, 2] універсального розвантажувача модульного типу (рис. 1), який можна використовувати для завантаження-розвантаження різного роду сипучих вантажів та, за умови додаткового оснащення відповідними модулями, транспортування на невеликі відстані.

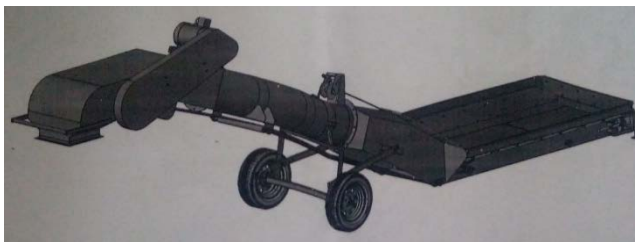


Рис. 1. Загальний вигляд розвантажувача залізничних вагонів

Розвантажувач вагонів стрічковий призначений для вивантаження сипучих вантажів (наприклад зерна та ін.) з залізничних вагонів та складається з таких основних частин: секція завантаження; проміжна секція і секція вивантаження.

Тяговим елементом даного розвантажувача, є стрічка конвеєрна (рис. 2), яка приводиться в рух електродвигуном АІР 132 М8. Конструкція спроектована таким чином, що тягова частина конвеєрної стрічки для переходу з горизонтальної частини в похилу заламується в місці з'єднання секції завантаження і проміжної секції. Такий підхід дає можливість використовувати суцільну конвеєрну стрічку.

Стрічка в стрічковому конвеєрі є основним елементом по якому переміщуються вантажі, тому вона має відповідати наступним вимогам [2]:

- мати високу міцність;
- володіти підвищеною гнучкістю;
- мати високу довговічність;
- не вбирати в себе частинок матеріалів та запахів;
- мати невелику масу;
- мати відносно невелике видовження.

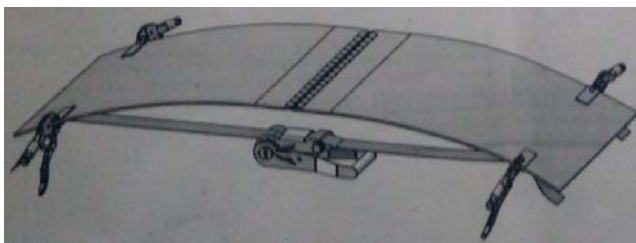


Рис. 2. Схема з'єднання стрічки

Компоновка з розділеними конвеєрами, коли секція завантаження має свій конвеєр, а проміжна свій, допоможе зменшити втрати сипучого вантажу в місці перевантаження з горизонтальної частини на похилу, і зменшить навантаження на конвеєрну стрічку в проміжній секції. Розділення на два конвеєри забезпечить кращі пускові можливості при навантаженому старті.

Список посилань

1. Иванченко Ф.К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко. – К.: Вища школа, 1978.
2. Коробко М.М. Стрічкові конвеєри: навчальний посібник із дисципліни «Підйомно-транспортні машини» / Коробко М.М. – Київ., 2014. – 90 с.

Наукове видання

**Матеріали та технології
в інженерії (МТІ-2023)**

Інженерія, матеріали, технології, транспорт:
Збірник наукових доповідей міжнародної конференції,
Луцьк, Україна, 16–18 травня 2023 р.

Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023)

Engineering, Materials, Technologies, Transport:
Collection of Scientific Reports of the International Conference,
Lutsk, Ukraine, May 16–18, 2023

Друкується в авторській редакції

Формат 60x84 1/16. Обсяг 16,04 ум. друк. арк., 15,85 обл.-вид. арк.
Наклад 300 пр. Зам. 65. Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (0332) 29-90-65).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.

**MATERIALS
TECHNOLOGY
ENGINEERING
2023**



LUTSK
NATIONAL
TECHNICAL
UNIVERSITY



Encouraging the growth of creative industries



ISBN 978-966-940-473-2



mte.lntu.edu.ua