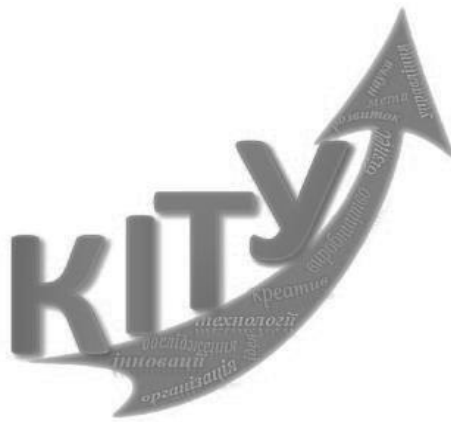


Міністерство освіти і науки України
Національна Академія Наук Вищої Освіти України
Донбаська державна машинобудівна академія,
J.J.Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty (Хорватія)
University of Zielona Góra (Польща)
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Сербія)
DAAAM International Vienna
Belgrade University Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica (Montenegro),
Міжнародний університет безперервної освіти
ГО «Юнацький технопарк»
ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»
TOB Corum Group
Кафедра «Інноваційних технологій і управління»
Студентське наукове товариство з технологій машинобудування
Мала академія наук з науково-промислового профілю



МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО- ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

міжнародної молодіжної науково-технічної конференції
20 червня 2022 р.

За загальною редакцією
д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Краматорськ
ДДМА, 2022

Ministry of Education and Science of Ukraine,
National Academy of Higher Education of Ukraine,
Donbass State Engineering Academy (DSEA),
J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty (Croatia),
University of Zielona Góra (Poland),
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia),
DAAAM International, Vienna (Austria),
University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica (Montenegro),
International University Continuing Education,
Public Organization "Junior Industrial Park",
JSC "Machine Building Plant Novokramatorsky",
Corum Group Ltd.,
Department of Innovative Technologies and Management,
Student Society Technology Engineering,
Small Academy of Sciences for Scientific and Industrial Profile



YOUNG SCIENCE - ROBOTICS AND NANO- TECHNOLOGY OF MODERN MECHANICAL ENGINEERING

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS
International Youth Scientific and Technical Conference
June 20, 2022

According to the general edition
Doctor of Technical Sciences, Prof. SV Kovalevsky and
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Kramatprsk
DSEA, 2022

УДК 621
М 75

Рецензенти - Reviewers :

Соколов В.І., д-р техн. наук, проф., Head of the Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University;

Sokolov V.I., Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics of the Ukrainian National University of Volodymyr Dal;

Самотугін С.С., д-р техн. наук, проф., зав. каф. металорізальних верстатів ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

Samotugin S.S., Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Metal-Cutting Machines, Azov State Technical University.

Затверджено на засіданні вченої ради ДДМА (протокол № 9 від 27.05.2022 р.)

Approved at the meeting of the Academic Council of the DSEA (protocol № 9 from 27.05.2022)

М 75 Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 20 червня 2022 р.. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ : ДДМА, 2022. – 226 с.

Young science - robotics and nano-technologies of modern mechanical engineering: a collection of scientific papers of the International Youth Scientific and Technical Conference, June 20, 2022 / for general. ed. S.V. Kovalevsky, Dr. Tech. Science, Prof., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić - Kramatorsk: DSEA, 2022. - 226 p.

ISBN 978-966-379-982-7

У збірнику опубліковано матеріали праць аспірантів, магістрантів, студентів і учнів – членів Малої академії наук з науково-промислового профілю. Пропонуються перспективні ідеї, аналіз конкретних проблемних питань автоматизації машинобудування, створення робочих функціональних поверхонь деталей машин; подано розробки, готові до впровадження. Призначений для використання в практичній діяльності студентів, магістрів ВНЗ і фахівців машинобудівних підприємств.

The collection contains materials of works of graduate students, undergraduates, students and pupils - members of the Small Academy of Sciences in science and industry. Perspective ideas, the analysis of concrete problematic questions of automation of mechanical engineering, creation of working functional surfaces of details of cars are offered; ready-to-implement developments are submitted. It is intended for use in practical activity of students, masters of high school and experts of the machine-building enterprises..

ISBN 978-966-379-982-7

УДК 621
□ ДДМА, 2022

Програмний комітет конференції:

Dašić Predrag - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Department in Trstenik (Serbia);

Jenek Mariusz - Dr. inz (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

Marušić Vlatko - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

Sandra Poirier - Doctor of Education, CFCS, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

Dorđević Milan, president - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia)

Guida Domenico - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIn), Fisciano (Italy);

Zdravko Krivokapić - Dr.Sc., Prof., Faculty of Mechanical Engineering, Podgorica, Montenegro;

Karabegović Isak - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)

Mirjanić Dragoljub - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina)

Nedeff Valentin - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania)

Pele Alexandru-Viorel, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania)

Zhelezarov S. Iliya, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria)

Анділахай О.О. - д.т.н., проф. (ПДТУ, м.Маріуполь, Україна);

Волошин О.І. - головний інженер ПрАТ НКМЗ (м.Краматорськ, Україна);

Залога В.О. - д.т.н., проф. (СумДУ, м.Суми, Україна);

Кіяновський М.В. - д.т.н., проф. (КНТУ, Кривий Ріг, Україна);

Ковалевська О.С. - к.т.н., доц. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

Ковалевський С.В. - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

Ковальов В.Д. - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

Коржов Є.О. - к.є.н., начальник бюро перспективного розвитку ПрАТ «НКМЗ» (м.Краматорськ, Україна);

Мазур М.П. - д.т.н., проф. (ХНУ, м.Хмельницький, Україна);

Макаренко Н.О. - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

Марков О.Є. - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

Марчук В.І. - д.т.н., проф. (ЛНТУ, м.Луцьк, Україна);

Новіков Ф.В. - д.т.н., проф., (ХНЕУ, м.Харків, Україна);

Оргіян О.А. - д.т.н., проф. (ОНПУ, м.Одеса, Україна)

Петраков Ю.В. - д.т.н., проф. (НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м.Київ, Україна);

Самотугін С.С. - д.т.н., проф. (ПДТУ, м.Маріуполь, Україна);

Сапон С.П. - к.т.н., доц. (ЧНТУ, м. Чернігів, Україна).

Program Committee:

Dašić Predrag - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - – Department in Trstenik (Serbia);

Jenek Mariusz - Dr. inz (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

Marušić Vlatko - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

Sandra Poirier - Doctor of Education, CFCs, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

Dorđević Milan, president - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia)

Guida Domenico - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIIn), Fisciano (Italy);

Zdravko Krivokapić- Dr.Sc., Prof., Faculty of. Mechanical Engineering. Podgorica, Montenegro;

Karabegović Isak - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)

Mirjanić Dragoljub - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina)

Nedeff Valentin - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania)

Pele Alexandru-Viorel, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania)

Zhelezarov S. Iliya, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria)

Andilahi O.O. - Dr.Sc., prof. (PDTU, Mariupol, Ukraine);

Voloshin O.I. - Chief Engineer of NKMZ (Kramatorsk, Ukraine);

Zaloga V.O. - Dr.Sc., prof. (Sumy State University, Sumy, Ukraine);

Kyanovsky M.V. - Dr.Sc., prof. (KNTU, Kryvy Rih, Ukraine);

Kovalevska O.S. - Ph.D., ass.prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine)

Kovalevskyy S.V. Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Kovalev V.D. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Korzhov Ye.O. – Ph.D., NKMZ (Kramatorsk, Ukraine);

Mazur M.P. - Dr.Sc., prof. (ХНУ, м.Хмельницький, Україна);

Makarenko N.O. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Markov O.E. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Novikov F.V. - Dr.Sc., prof. (KhNEU, Kharkiv, Ukraine);

Orgiyan O.A. - Dr.Sc., prof. (ONPU, Odessa, Ukraine);

Petrakov U.V. - Dr.Sc., prof. (NTUU "KPI" them. I. Sikorsky, Kiev, Ukraine);

Samotugin S.S. - Dr.Sc., prof. (PDTU, Mariupol, Ukraine);

Sapon S.P., - Ph.D., ass.prof. (ChNTU, Chernigov, Ukraine).

ЗМІСТ - CONTENT

Стр.

1. Aleksandar Marinković (Serbia, University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy), Marija M. Vuksanović (Serbia, University of Belgrade, Department of Chemical Dynamics and Permanent Education, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia), Ivana Stajčić (Serbia, University of Belgrade, Department of physical chemistry, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia), Milutin Milosavljević (Serbia, University of Priština, Faculty of Technical Science). PRODUCTION OF PVC REGRANULATES BASED ON PLASTICIZERS FROM RECYCLED POLY(ETHYLENE TEREFALATE) (PET)	11
2. Ivan Lazović (Croatia, Faculty of Management in Zaječar, Forest Kraljevica) VOLATILITY OF WORLD STOCK EXCHANGE IN CRISIS SITUATION	21
3. Dejan Šakić (Croatia, University Applied Science Zagreb, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod). INFLUENCE OF ERP IMPLEMENTATION ON FOUNDRY EFFICIENCY.	26
4. Ivan Nikolić (Croatia, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod). OPTICAL MEASUREMENTS OF SURFACE ROUGHNESS CUT WITH WATERJET.	30
5. Janjić I., Opačak I. (Croatia, Slavonski Brod, MEFSB). DETERMINATION OF FREQUENCY FACTOR AND ACTIVATION ENERGY FOR BORONIZING OF C15 STEEL.	35
6. Mijat Samardžić (Croatia, Slavonski Brod, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod). INFLUENCE ON THE WORKABILITY OF PRODUCTS WITH WELDED SURFACES.	40
7. Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies). CONTACT STRESSES IN ELASTIC AREA AND THEIR IMPACT ON THE CALIBRATION OF CHAINS WITH RINGS.	43
8. Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies). CONSTRUCTION AND PRODUCTION SPECIFICS OF CHAINS WITH RINGS AND MECHATRONICS SYSTEM CONTRIBUTION IN THE IMPROVEMENT OF THE SAME.	48
9. Anatska V.V. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). FEATURE SOFAPPLICATION OF SHS-PROCESSES FOR IMPLANTATION OF SURFACE OF MACHINE PARTS.	55
10. Антюшко Д.П., Лазоренко В.В. (Україна, Київ, ДТЕУ). ЗНАЧЕННЯ ТА ТРЕНДИ РЕАЛІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ОСВІТИ В СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕПВНОГО НАВЧАННЯ.	57
11. Артемов В.Ю., Онишук С.Г. (Україна, Краматорськ, ДДМА). ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ	61

ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В МАШИНОБУДУВАННІ.

12. **Артемів В.Ю., Олійник С.Ю.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).* **ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ В ТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ.** 64
13. **Bobrov D.S.** *(Ukraine, Kramatorsk, DSEA).* **CONTROL OF THE METHOD OF APPLICATION OF ANTIFRICTION COATINGS.** 68
14. **Буйкус Я.О., Недвіга А.А.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).* **СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.** 70
15. **Бублик А.Г., Кошева Л.В.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).* **ОСОБЛИВОСТІ ПРОТИДІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ РОБОТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА НА ФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ.** 74
16. **Goncharova N.S.** *(Ukraine, Kramatorsk, DSEA).* **PROTOTYPING OF PRODUCTS WITH THE USE OF ELECTRO SPARK DOPING.** 77
17. **Грищенко Д.І., Бейгул О.О., Бейгул В.О.** *(Україна, Кам'янське, ДДТУ).* **СТІЙКІСТЬ ЗБУРЕНОГО РУХУ ЗЧЛЕНОВАНОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА З БУГЕЛЬНОЮ РАМОЮ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩІ.** 79
18. **Держинський І.В., Кассов В.Д.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).* **РОЗРОБКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ СТІЙКОСТІ БАШТОВИХ КРАНІВ.** 85
19. **Дук В.Г., Коротченко В.Е., Ковалевська О.С., Ковалевський С.В.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).* **ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ. ВИРОБНИЦТВ ДЛЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНИХ СИСТЕМ.** 92
20. **Khmelova Y.O.** *(Ukraine, Kramatorsk, DSEA).* **FORMATION OF PROPERTIES OF WORKING SURFACES OF MACHINE PARTS ON THE BASIS OF APPLICATION OF TERMITIC MIXTURES.** 95
21. **Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Комнатний І.О., Зуєв І.О.** *(Україна, КривийРіг, Криворізький національний університет).* **ВИБІР МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙМОВІРНИХ ОЗНАК ДІАГНОСТИЧНОГО СИГНАЛУ.** 98
22. **Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Зуєв І.О.** *(Україна, КривийРіг, Криворізький національний університет).* **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МАШИН ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВІБРОДІАГНОСТИЧНИМ МОНІТОРИНГОМ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ.** 102
23. **Клименко С.А., Румянцева Ю.Ю., Савченко Д.О., Чумак А.О.** *(Україна, Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України).* **РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИТІВ ІЗ** 106

ПКНБ ГРУПИ ВЛ, АРМОВАНИХ ОКСИДНИМИ ТА БЕЗОКСИДНИМИ ВОЛОКНАМИ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК.	
24. Кравцова Д.Ю., Бондар О.В., Комнатний І.В. (Україна, Кривий Ріг, КНУ). ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ МІДІ НА ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ 3D-ДРУКУ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МАТЕРІАЛУ УКРАЇНСЬКИХ ВИРОБНИКІВ.	112
25. Kulyk R.Yu. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF QUALITY OF ASSEMBLY OF MULTIPOLTED JOINTS.	114
26. Лупа Ю.В., Дук В.Г., Ковалевський С.В. (Україна, Краматорськ, ДДМА). ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОРЕЗОНАНСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЗМІНИ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО РІВНЯ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.	116
27. Магопець М.С., Шепеленко І.В. (Україна, Кропивницький, ЦНТУ). МЕТОД ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ НА ОСНОВІ ДЕФОРМУЮЧОГО ПРОТЯГУВАННЯ.	121
28. Надіч П.В., Кінденко М. І. (Україна, Краматорськ, ДДМА). ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ.	124
29. Онищенко С.В., Колосов Д.Л. (Україна, Дніпро, НТУ «ДП»). МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГОЛОВНОГО ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА ЗА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ШАХТНИХ СТОВБУРАХ З ПОРУШЕНОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ.	129
30. Palaguta O.V. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). METHOD OF STRENGTHENING WORK SURFACES OF MACHINE PARTS.	135
31. Підгорний Н.А., Солнцев О.В., Кузнєцов Ю.М. (Україна, Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»). РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ГІБРИДНИХ 3D-ПРИНТЕРІВ МОДУЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМІВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ.	136
32. Piddubny S.A. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). NON-NETWORK OPTIMIZATION OF 3D-COMPOSITION OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS.	142
33. Pleshan V.Yu. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). PRINCIPLES OF CREATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE NEW GENERATION.	144
34. Popov A.O. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA). EXPERIMENTAL RESEARCH OF SURFACE STRENGTHENING OF WORKING SURFACES OF MACHINE PARTS BASED ON PROCESS OF NAKOCH PROCESS.	147
35. Пронюк І.В., Копей В.Б. (Україна, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ). СИСТЕМА ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ НАВЧАЛЬНИМ ГНУЧКИМ ВИРОБНИЧИМ МОДУЛЕМ НА ОСНОВІ ARDUINO, GRBL ТА PYTHON.	150

36. Romanchenko S.P. (<i>Ukraine, Kramatorsk, DSEA</i>). GALVANIC MECHANICAL CHROME CHROME AS A METHOD OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF WORKING SURFACES OF PARTS.	157
37. Romanchenko S.P. (<i>Ukraine, Kramatorsk, DSEA</i>). METHOD OF LOCAL STRENGTHENING OF STEEL PARTS.	161
38. Rudakova K.A. (<i>Ukraine, Kramatorsk, DSEA</i>). FEATURES OF FORMATION OF THE TRAINING TRACTOR OF THE TOOL IN THE WORKING ZONE OF THE HEXAPOD.	163
39. Самсонова Т.М. (<i>Україна, Слов'янськ, Відокремлений структурний підрозділ «Слов'янський фаховий коледж Національного авіаційного університету»</i>). ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ЕКОНОМІКИ.	165
40. Сапон С.П., Космач О.П., Власюк В.А. (<i>Україна, Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»</i>). ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ЯК ІНСТРУМЕНТ МОНІТОРИНГУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ.	169
41. Сидюк Д.М., Ковалевський С.В. (<i>Україна, Краматорськ, ДДМА</i>). ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЖИТТЕВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ.	177
42. Сидюк Д.М., Ковалевський С.В. (<i>Україна, Краматорськ, ДДМА</i>). СИГНАТУРНИЙ ПІДХІД ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЕВИМ ЦИКЛОМ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ.	180
43. Соколова О.А., Вислоух С.П. (<i>Україна, Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»</i>). ДО ПИТАННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ.	186
44. Трембач І.О. (<i>Україна, Краматорськ, ПрАТ «НКМЗ», ДДМА</i>), Гринь О. Г. (<i>Україна, Краматорськ, ДДМА</i>). МУЛЬТИФАЗНА СТРУКТУРА МАНГАНОВОЇ СТАЛІ – ЗАПОРУКА ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ.	194
45. Третяк В.В., Ряполов В.Д., Приходько С.О., Шульга М.О. (<i>Україна, Харків, НАУ (ХАІ)</i>). ПРОГРАМНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ПРЕС-ГАРМАТІ.	198
46. Turkenich I.S. (<i>Ukraine, Kramatorsk, DSEA</i>). METHOD OF EDITING NON-RIGID PLANE DETAILS.	205
47. Фраймович А.В., Кравцова Д.Ю., Бондар О.В. (<i>Україна, Кривий Ріг, КНУ</i>). ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОСТІ СТВОРЕННЯ ЗАСТОСУНКУ МООВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ ПАСКАЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПОТРЕБ ІНЖЕНЕРА-МЕХАНІКА.	208
48. Чаус О.С., Мартиненко І.М., Бурик І.П. (<i>Україна, Конотоп, Конотопський інститут СумДУ</i>). СИНТЕЗ ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД	212

НАНОСТРУКТУРНИХ ПЛІВОК МЕТАЛ-ФУЛЕРИТ-МЕТАЛ.

49. **Чернокол А.В., Ковалевський С.В.** *(Україна, Краматорськ, ДДМА).*
ВІБРАЦІЙНИЙ ВПЛИВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВИРОБІВ **218**
МАШИНОБУДВАННЯ.
50. **Чечель Т.О., Колосов Д.Л.** *(Україна, Дніпро, НТУ «ДП»).*
НАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛАСТОМІРНОЇ ОБОЛОНКИ **222**
ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА ВІД ПЕРЕДАЧІ ТЯГОВОГО
ЗУСИЛЛЯ.

Aleksandar Marinković (Serbia, University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy), **Marija M. Vuksanović** (Serbia, University of Belgrade, Department of Chemical Dynamics and Permanent Education, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia) **Ivana Stajčić** (Serbia, University of Belgrade, Department of physical chemistry, "VINČA" Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia), **Milutin Milosavljević** (Serbia, University of Priština, Faculty of Technical Science).

PRODUCTION OF PVC REGRANULATES BASED ON PLASTICIZERS FROM RECYCLED POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) (PET)

This paper presents methods for the synthesis of glycolysates from recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) by depolymerization using diethylene glycol (DEG) in the presence of FASCAT 4100 catalyst, followed by a treatment with maleic anhydride, and finally with 2-ethylhexanol (2-EtHex), which resulted in product 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex, intended for the use as a plasticizer. Furthermore, synthesis of plasticizer triacetin was performed using Amberlyst 15 as catalyst. The obtained glycolysates and plasticizers were used for the production of regranulate based on waste poly(vinyl chloride) (PVC) to obtain an expanded mass of PVC homogenized with glycolysate/plasticizer. After that, additional homogenization and regranulation is performed using a twin-screw extruder. These procedures and test results of the obtained regranulates and products indicate that the proposed technology offers a solution to the problem of waste PET and PVC through transesterification in order to obtain glycolysates based on PET and DEG, as well as plasticizers 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex used in the processing of PVC waste into regranulates.

1. INTRODUCTION

Global consumption of plastic materials has increased dramatically in recent years. Recycling is the most widely used method of dealing with waste plastic and preventing plastic pollution in the environment [1]. Mechanical recycling is a physical process in which plastic waste is cut, shredded, or washed into granulates, flakes, or pellets of appropriate quality for manufacturing, and then melted to make items by extrusion. The reproduced material can also be blended with neat material to improve results [2].

The properties of virgin and recycled thermoplastics, recycling techniques, and applications of various types of thermoplastic products such as HDPE, LDPE, PVC, PET, and polypropylene (PP) with improved properties based on modifications using environmentally friendly materials for sustainable use to save human existence from threats of ecological and social degradation [3]. There are various recycling technologies for materials such as iron, steel, aluminum, and other metals, pulp and paper, plastics, glass, building materials, industrial byproducts, and others, as well as various recovery and collection methods [4].

Spectroscopic, morphological, and rheological properties of recycled polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), and polyvinyl chloride (PVC) polymer blends were investigated. Different mixtures of these polymers were created by varying the composition of PET. Each recycled mixture contained recycled polymers as well as the compatibilizer ethylene propylene diene monomer (EPDM). According to rheological characterization, the melt flow index (MFI) decreases with increasing PET concentration in PE/PET/PVC recycled mixtures. It has also been discovered that the PET content of recycled mixtures increases, resulting in pseudoplastic behavior [6].

PET glycolysis is one of the most studied PET depolymerization processes [7]. In the absence of catalysts, however, this is extremely slow. PET glycolysis was carried out in the presence of metal acetates [8, 9], titanium phosphate [10, 11], solid superacids [12, 13], metal oxides such as NiO, Fe₂O₃, or TiO₂, and other additives. PET depolymerization can be accomplished through a variety of methods, including hydrolysis, aminolysis, and alcoholism. Alcoholism is accomplished through the use of ethylene glycol, diethylene glycol, propylene glycol, and dipropylene glycol [12].

The research looked at the thermal and mechanical properties, as well as the chemical structure, of four different polymers (PE, PP, polyASA, and PVC) to see if recycled polymers have the same properties as the original polymers and can be used in the same applications. The amount of stabilizers in recycled polymers was significantly less than in virgin polymers, indicating that not enough stabilizers were added during the recycling process [14].

M. E. Elsiddig et al. created shoe soles out of recycled plastic waste. PVC (polyvinyl chloride) waste injection and extrusion grades were mixed with three different formulations, and the optimal PVC mixture composition (extrusion / injection; 70/30) provided good mechanical and physical properties of the soles [15]. Shoe soles made of polyvinyl chloride and organic cellulose were also manufactured [16].

The tests given in this work are designed to evaluate the mechanical properties of PVC utilizing PET plasticizers. PET plasticizers were characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and NMR spectroscopy. The plasticizer added in this way is intended to improve the PVC material's mechanical qualities.

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Materials

To remove all traces of impurities and residual adhesives, the PET waste was cut into small pieces and washed with detergent and ethanol. For waste PET depolymerization, diethylene glycol - DEG - and Fascat 4100 catalyst were used. For the synthesis of plasticizers, maleic anhydride (MA) (Sigma-Aldrich, Germany), 2-ethyl-1-hexanol (RKS Composites), glycerin and acetic acid (Zorka Pharma, Serbia) were used.

2.2. Synthesis of PET-based plasticizers (2-(2-(((E)-4-((2-ethylhexyl)oxy)-4-oxobut-2-enoyl)oxy)ethoxy)ethyl (2-(((E)-4-((2-ethylhexyl)oxy)-4-oxobut-2-enoyl)oxy)ethyl) terephthalate; 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex)

PET-based plasticizer was synthesized by depolymerizing diethylene glycol (DEG) modified with maleic anhydride and 2-ethyl hexanol as follows: In a 100-liter reactor, 5.12 kg of diethylene glycol was gradually added to previously measured PET (16.7 kg, 86.1 mol). The reaction is carried out over 4 hours with a gradual increase in temperature to 205-210 °C from the time all PET is dissolved, and 0.15 kg of Fascat 4100 is used as the reaction catalyst. The reaction mixture is cooled to 90 °C after glycolysis, and nitrogen is introduced via the internal middle. Hydroquinone dissolved in absolute methanol was added (7 g in 1 ml of ethanol, 0.02 wt. %), followed by 17 kg of maleic anhydride (MA, 173.3 mol). The reaction is carried out for 30 minutes at 90 °C before gradually increasing to 150 °C. When the temperature reached 150 °C, 22.54 kg (173.4 mol) of 2-ethyl hexanol was added. To aid the esterification reaction, 0.189 kg of tetrabutyl titanate (0.3 % TBT) was added. After 1 hour of esterification, toluene was added to remove azeotropic water, and the temperature was raised to 210 °C. When 2.8 l of water (expected 3.23 l) was removed from the reaction mixture, the nitrogen bond was removed and the reactor was vacuumed and distilled until the temperature dropped to 90-100 °C (distillate ceases to separate).

2.3 Synthesis of triacetin (propane-1,2,3-triyl triacetate, TAC)

Synthesis of triacetin was performed using Amberlyst 15 catalyst. In the 10 l four necked round bottom reactor equipped with Dean-stark separator, mechanical stirrer, nitrogen gas inlet tube, condenser and thermometer were added 1.84 kg (20 mol) of glycerol, 4.2 kg (70 mol) of acetic acid and 100 g of an acid ion exchange resin (Amberlyst 15, Merck). After addition of 500 ml of cyclohexane the reaction mixture was heated at 90 °C. After 24 hours, the reaction mixture had an acid number of 24 and the reaction temperature was increased to 100 °C. The esterification catalyst was separated off by filtration and was kept for further use. The cyclohexane was distilled off, and residual solution was distilled at vacuum (1-2 mm Hg) at a product temperature of 70-72 °C. The faint yellow TAC was obtained in 96% yield (viscosity 21 s in a DIN cup 4 at 20 °C). The results of elemental analysis, FTIR and NMR data are in accordance with literature.

2.4. Methods of characterization

FTIR (ATR-FTIR Nicolet iS10 (Thermo Scientific) spectrophotometer was used to analyze the structural properties of the obtained glycolysis based on PET with a resolution of 4 cm⁻¹).

¹H and ¹³C NMR analysis – ¹H NMR spectra were recorded on a Bruker Avance III 500/125 MHz instrument, with ¹H NMR spectra recorded at 500 MHz and ¹³C NMR spectra recorded at 125 MHz. Spectra were collected in 5 mm cuvettes filled with deuterated chloroform (CDCl₃) or deuterated

dimethylsulfoxide (DMSO- d_6) at room temperature. Chemical shifts in ^1H NMR spectra are expressed as ppm (δ) values relative to TMS (tetramethyl silane) and solvent residual signal in ^{13}C NMR spectra. The acid value (AV) was evaluated according to ASTM D3644, while hydroxyl value was determined according to standard acetic anhydride method. Elemental analysis was performed using Vario EL III CHNOS Elemental Analyzer.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the first step of PVC re-granulate production a plasticizer, based on PET glycolysis and TAC, was synthesized. The probable structural formula of 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex plasticizer with numeration of the atom of interest is given on Figure 1.

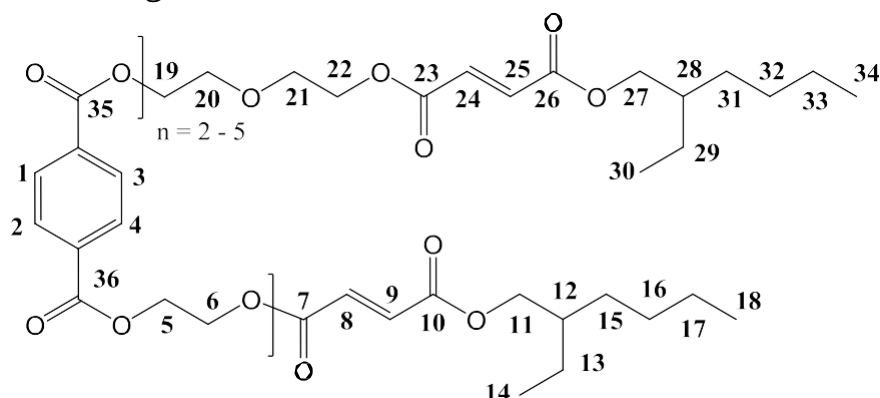


Figure 1. The most probable structure of 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex plasticizer

FTIR spectrum of 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex plasticizer is given on Figure 2.

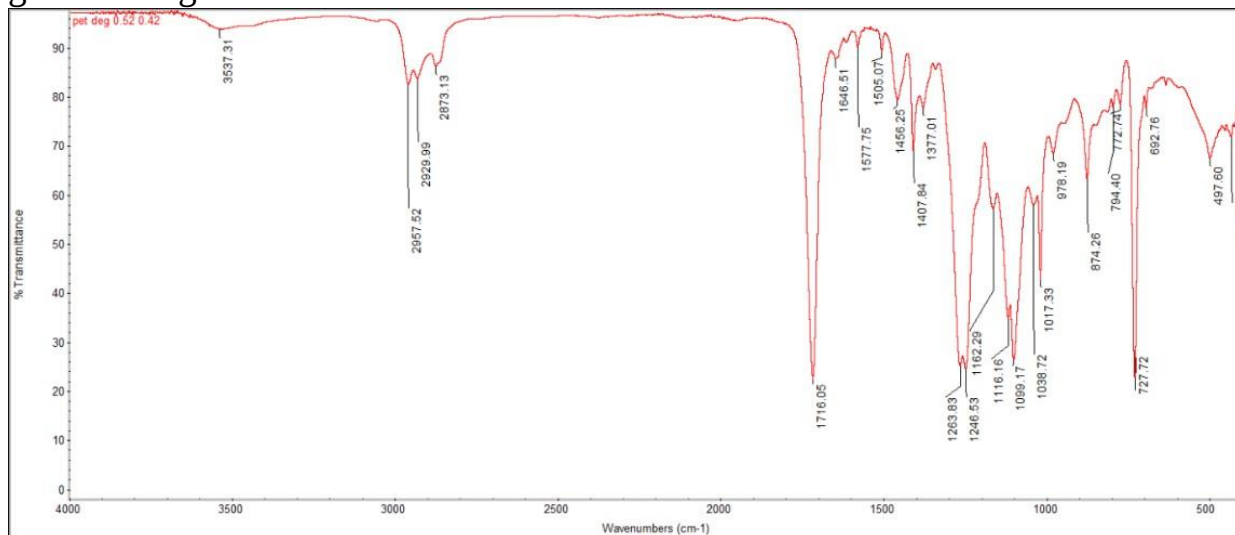


Figure 2. FTIR spectrum of the synthesized 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex plasticizer

Figure 2 depicts representative FTIR spectra of synthesized PET-based plasticizers. The structural changes after waste PET depolymerization and

esterification with MA and 2-ethyl hexanol were identified using FTIR spectroscopy. The low absorbance due to hydroxyl group indicate successful esterification with 2-ethyl-1-hexanol. Aromatic C-H stretching vibration was visible as a shoulder at 3056 cm^{-1} . Asymmetric and symmetric stretching vibrations of the methyl and methylene groups were observed in the region $2957 - 2873\text{ cm}^{-1}$, while bending vibrations were observed at 1456 and 1377 cm^{-1} . The band at 1716 cm^{-1} was assigned to the stretching vibration of the ester carbonyl group. Also, the bands at 1264 , 1246 and 1099 were assigned to C-O stretching vibration from ester and ether groups. Out-of-plane C-H aromatic deformation vibration was noticed at 728 cm^{-1} .

Results of the ^1H and ^{13}C NMR analysis of the plastizicer based on product of PET glycolysis with DEG esterified MA and with 2-ethyl-1-hexanol are:

^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$): $0.78-0.89$, $1.00-1.03$, $1.20-1.39$ (*m*, 28H , $\text{C}(14)\text{H}_3$, $\text{C}(13)\text{H}_2$, $\text{C}(15)\text{H}_3$); $1.62-1.66$ (*m*, 2H , $\text{C}(12)\text{H}$ and $\text{C}(28)\text{H}$); $3.37-4.92$ (*m*, 16H , $\text{C}(11)\text{H}_2$, $\text{C}(27)\text{H}_2$, $\text{C}(5)\text{H}_2$, $\text{C}(6)\text{H}_2$, $\text{C}(19)\text{H}_2$, $\text{C}(20)\text{H}_2$, $\text{C}(21)\text{H}_2$, $\text{C}(22)\text{H}_2$); 6.41 , 6.90 and 6.92 (*m*, 4H , $\text{C}(8)\text{H}$, $\text{C}(9)\text{H}$, $\text{C}(24)\text{H}$ and $\text{C}(25)\text{H}$); $7.93-8.08$ (*m*, 4H , H_{Ph});

^{13}C NMR ($\text{DMSO}-d_6$): 11.60 and 14.18 ($\text{C}(14)$, $\text{C}(18)$, $\text{C}(30)$ and $\text{C}(34)$); $23.5-23.8$ ($\text{C}(17)$, $\text{C}(33)$, $\text{C}(13)$ and $\text{C}(29)$); 39.8 ($\text{C}(12)$ and $\text{C}(28)$); $61.6-69.2$ ($\text{C}(11)$, $\text{C}(27)$, $\text{C}(5)$, $\text{C}(6)$, $\text{C}(19)$, $\text{C}(20)$, $\text{C}(21)$ and $\text{C}(22)$); $129.4-130.6$ ($\text{C}(1)$, $\text{C}(2)$, $\text{C}(3)$ and $\text{C}(4)$); $132.0-132.5$ ($\text{C}(8)$, $\text{C}(9)$, $\text{C}(24)$ and $\text{C}(25)$); $165.8-166.9$ ($\text{C}(7)$, $\text{C}(10)$, $\text{C}(23)$, $\text{C}(26)$, $\text{C}(35)$ and $\text{C}(36)$).

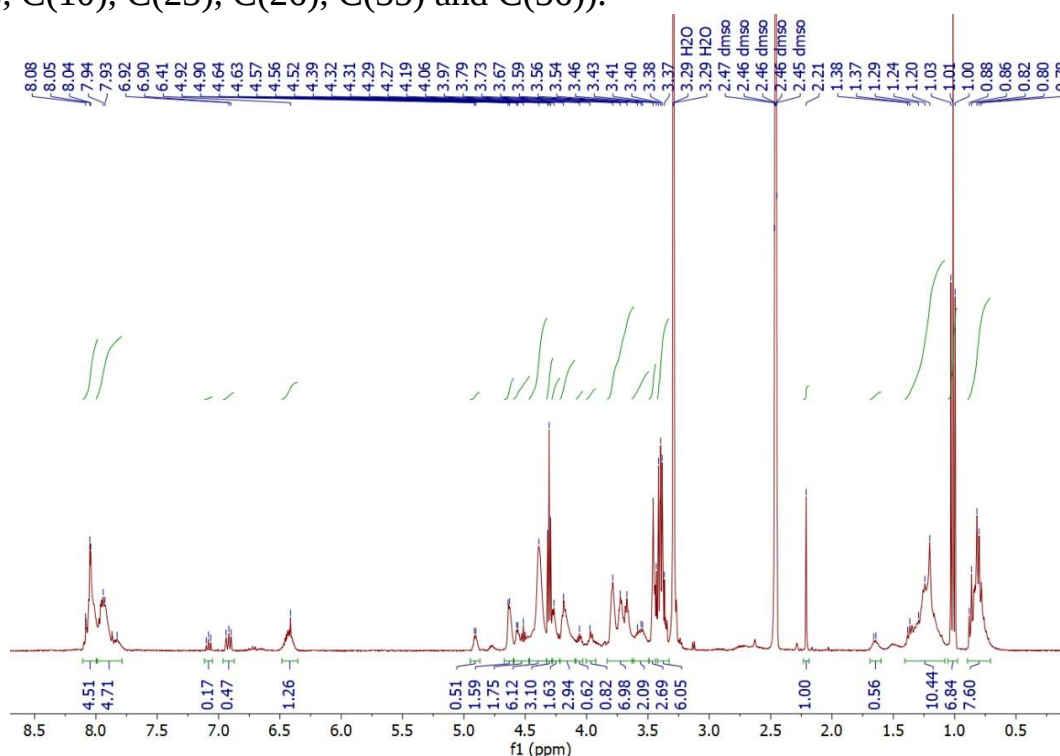


Figure 3. ^1H NMR spectra of the 2-EtHex/MA/DEG/PET/EG/MA/2-EtHex plasticizer

4. The structure of propane-1,2,3-triyl triacetate plasticizer is given on Figure

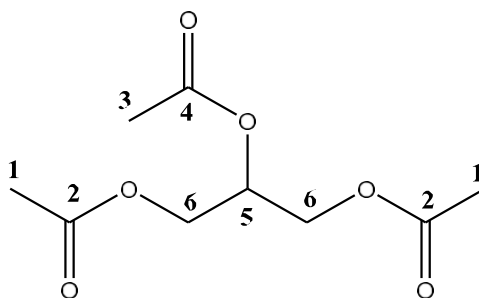


Figure 4. The structure of TAC with numeration of the atoms of interest

^1H NMR ($\text{DMSO-}d_6$): 1.93-1.94 (s, 6H, 2 x $\text{C}(1)\text{H}_3$), 1.95-1.97 (s, 3H, $\text{C}(3)\text{H}_3$), 4.06-4.4.21 (dd, 4H, 2 x $\text{C}(6)\text{H}_2$); 5.11-5.16 (m, 1H, $\text{C}(5)\text{H}$).

^{13}C NMR ($\text{DMSO-}d_6$): 20.66, $\text{C}(1)$; 20.85 $\text{C}(3)$; 62.33 $\text{C}(6)$, 69.22 $\text{C}(5)$, 170.08 $\text{C}(4)$ and 170.39 $\text{C}(2)$.

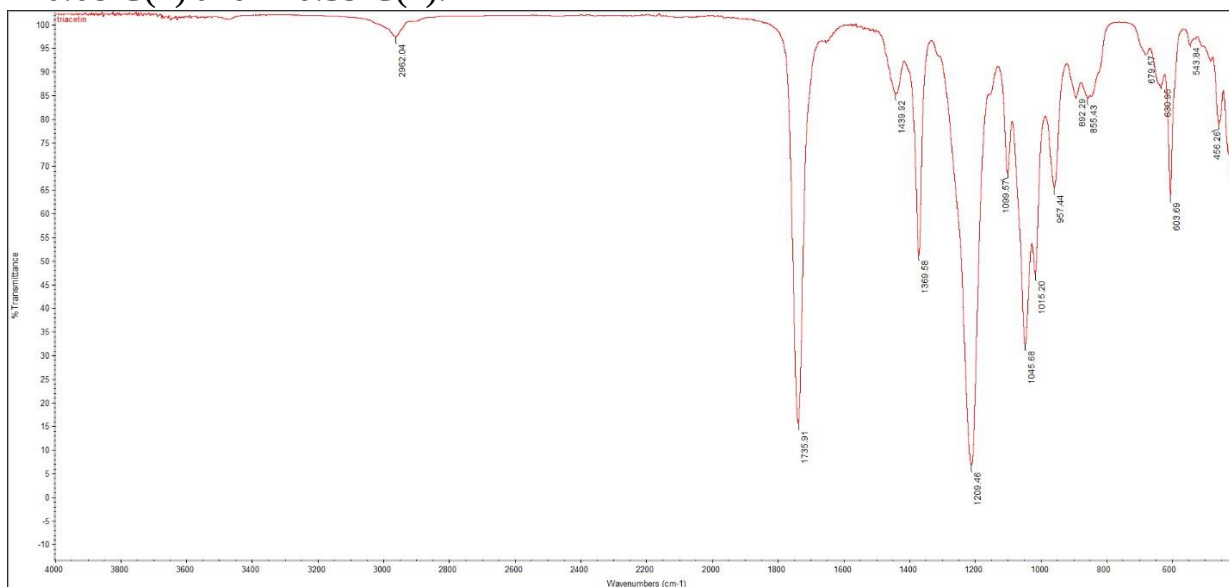


Figure 5. FTIR spectrum of the triacetin

FTIR spectrum of TAC is presented on Figure 5. Small peak, corresponding to asymmetric and symmetric stretching vibrations of the methylene groups, was observed at 2982 cm^{-1} , while bending vibrations were observed at 1440 and 1370 cm^{-1} . The band at 1736 cm^{-1} was assigned to the stretching vibration of the ester carbonyl group. Also, the bands at 1209 and 1046 were assigned to C-O stretching vibration from ester groups.

Table 1 displays HV, AV values and results of elemental analysis of both plasticizers.

Table 1. HV, AV values and results of elemental analysis of PET/DEG plasticizer

plasticizer	H	AV _{exp.}	%	
EtHex/MA/DEG-TAC	8	3.4	6	7
			6	7
	1	9	4	6

* Oxygen percent was calculated as subtraction

After plasticizer synthesis the production of PVC re-granulates, using synthesized plasticizers, was performed. First, waste PVC floor was grinded using a sieve with a pore size ranging from 1 mm to 20 mm. The ground waste is dosed into a hot mixer manually (Figure 6).



Figure 6. Hot mixer (10 L) for PVC melting and homogenization with plasticizers (left) and PVC re-granulates produced by injection molding (right)

When mixing, the temperature begins at 30 °C. During the mixing process, a plasticizer is added. A plasticizer of 2 kg of waste PVC depending on the desired hardness. When the temperature reaches 35 °C, the plasticizer is added to a mixer, but only for up to 5 minutes, during which it is mixed with waste PVC. The batch is discharged into a cold mixer when the temperature reaches 115 °C and after 40 min of homogenization. Because the mass from the upper mixer is hot and doughy, it is converted into a floury form by cooling and bringing to a temperature of 45 °C after being added to the cold mixer. It is then discharged from the lower mixer in a state that allows it to be used as a raw material in the production of the final product, i.e. regranulate. There is no waste produced during this process, and the semi-finished product has none of the characteristics of a dangerous product and is ready for further use and the production of final products, or it can be processed to produce regranulate (Figure 6).

Comparisons of PVC material to which synthesized plasticizers from waste PET were added were performed. The obtained properties are given in Tables 2 and 3.

Table 2. Characteristics of the product obtained from PVC regranulate in the ratio of 100 kg PVC/20 kg 2-EtHEX/MA/DEG/PET/PG/MA/2-EtHex

Chemical properties

	Acids - concentrated	Good
	Acids - diluted	Good
	Alcohol	Good
	Bases	Good
	Aromatic hydrocarbons	Good
	Fats and oils	Good
	Halogens	Good
	Ketones	Good
Mechanical properties		
D695	Elongation ASTM D638 (%)	95
	Tensile strength ASTM D638	51 MPa
	Bending resistance ASTM D790	56.9 MPa
	Compressive strength ASTM	51.2
	Young's modulus ASTM D638	3.2 GPa
D790	Modulus of elasticity ASTM	1.8 GPa
	Shor hardness	68
	Izod toughness (J m ⁻¹)	26
Physical properties		
ASTM D570	Density (g cm ⁻³) ASTM D792	1.45
	Flammability	Self-extinguishing
	Limiting oxygen index (%)	21.7
	Refractive index	1.541
	Resistance to UV radiation	Good
	Water absorption (%)	<0.6
	Water absorption- within 24 h (%)	0.72

Table 3. Characteristics of the product obtained from PVC regranulate in the ratio of 100 kg PVC/20 kg (1:1) 2-EtHEX/MA/DEG/PET/PG/MA/2-EtHex:TAC

Chemical properties		
	Acids - concentrated	Good
	Acids - diluted	Good
	Alcohol	Good
	Bases	Good
	Aromatic hydrocarbons	Good
	Fats and oils	Good
	Halogens	Good
	Ketones	Good
Mechanical properties		
	Elongation ASTM D638 (%)	98
	Tensile strength ASTM D638	48 MPa

D695	Bending resistance ASTM D790	53.7 MPa
	Compressive strength ASTM	48.3
	Young's modulus ASTM D638	3.0 GPa
D790	Modulus of elasticity ASTM	1.5 GPa
	Shor hardness	62
	Izod toughness (J m^{-1})	23
Physical properties		
	Density (g cm^{-3}) ASTM D792	1.43
	Flammability	Self-extinguishing
	Limiting oxygen index (%)	19.55
	Refractive index	1.538
	Resistance to UV radiation	Good
	Water absorption (%)	<0.4
	Water absorption- within 24 h (%)	0.70
ASTM D570		

In general, according to all phyco-chemical and mechanical properteis it can be concluded that similar behavior could be observed in relation to chemical properteis, and better ones with respect to mechanical and physical properteis.

4. CONCLUSION

This research presented methods for waste PET depolymerization, with the aim of synthesizing glycolyzates that were further used for the production of novel plastisizers for waste PVC. Two kinds of plastisizers were made, and structural analyses performed using FTIR and NMR confirmed successful depolymerization and esterification. Elemental analysis was in accordance with the calculated structure in both cases. After the mixing and regranulation with recycled PVC, chemical resistance analysis showed that mixtures with both plastisizers resulted in a final material with good chemical resistance on typical aggressive chemicals. Mechanical tests showed that the addition of 2-EtHEX/MA/DEG/PET/PG/MA/2-EtHex to PVC resulted in better mechanical properties, although both plastizisers show promising results. High Young's modulus values of 3.2 GPa for PVC/2-EtHEX/MA/DEG/PET/PG/MA/2-EtHex and 3.0 GPa PVC/TAC indicate that both materials can withstand high deformation resistance. The findings from this study prove that the recycling of PET into plasticizers and further incorporation into another thermoplastic polymer enables sustainable production cycle, with the focus on environmental protection and reduced dependence on oil-based chemicals.

Acknowledgements

The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia supported this work (Contract Nos. 451-03-68/2021-14/200135 and 451-03-9/2021-14/200017).

REFERENCES

- 1 Özgül N.M., Savaşçin M.Y, Özkanc İ., *Recycling of Coal Ash in Production of Low Density Masonry Unit*, *Acta Physica Polonica A*, (2017) 132, 430-443.
- 2 Grigore M.E., *Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers*, *Recycling*, (2017) <https://www.mdpi.com/2313-4321/2/4/2>.
- 3 Taofik Oladimeji Azeez, *Thermoplastic Recycling: Properties, Modifications, and Applications*, *Open access peer-reviewed chapter*, (2019) DOI: 10.5772/intechopen.81614.
- 4 Francesco La Mantia, *Handbook of Plastics Recycling*, ISBN: 1-85957-325-8, iSmithers Rapra Publishing, (2002).
- 5 Sidney Levy, James F. Carley, *Plastics Extrusion Technology Handbook*, Industrial Press Inc., (1989).
- 6 G.M. Mamoor, Wahab Shahid, Amir Mushtaq, Umer Amjad, Umer Mehmood, *Recycling of mixed plastics waste containing polyethylene, polyvinylchloride and polyethylene terephthalate*, *Chemical Engineering Research Bulletin* 16 (2013) 25-32.
- 7 G. Xi, M. Lu, and C. Sun, "Study on depolymerization of waste polyethylene terephthalate into monomer of bis(2-hydroxyethyl terephthalate).," *Polymer Degradation and Stability*. vol. 87, no. 1, pp. 117–120, 2005.
- 8 M. Ghaemy and K. Mossaddegh, "Depolymerisation of poly(ethylene terephthalate) fibre wastes using ethylene glycol.," *Polymer Degradation and Stability*. vol. 90, no. 3, pp. 570–576, 2005.
- 9 K. Troev, G. Grancharov, R. Tsevi, and I. Gitsov, "A novel catalyst for the glycolysis of poly(ethylene terephthalate).," *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 90, no. 8, pp. 2301–2301, 2003.
- 10 H. Wang, R. Yan, Z. Li, X. Zhang, and S. Zhang, "Fe-containing magnetic ionic liquid as an effective catalyst for the glycolysis of poly(ethylene terephthalate).," *Catalysis Communications*. vol. 11, no. 8, pp. 763–767, 2010.
- 11 T. Yoshioka, T. Handa, G. Grause, Z. Lei, H. Inomata, and T. Mizoguchi, "Effects of metal oxides on the pyrolysis of poly(ethylene terephthalate).," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. vol. 73, no. 1, pp. 139–144, 2005.
- 12 Q.F. Yue, C.X. Wang, L.N. Zhang, Y. Ni, and Y.X. Jin, "Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) (PET) using basic ionic liquids as catalysts.," *Polymer Degradation and Stability*. vol. 96, no. 4, pp. 399–403, 2011.
- 13 A. Modarres and H. Hamed, "Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes.," *Materials & Design*. vol. 61, pp. 8–15, 2014.
- 14 Maryam Mohammadzadeh, *Characterization of recycled thermoplastic polymers*, Master thesis, (2009) University of Borås.
- 15 M. E. Elsiddig, I. H. Mohamed ElAmin, G.A. Gasmelseed, *Study of Sole Durability from Poly Vinyl Chloride (PVC) Injection and Extrusion Grades Blends*, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 5 (1) (2016) 21-24.
- 16 US4405730A, Polyvinyl chloride shoe sole composition, United States Patent, (1982).

Ivan Lazović (Croatia, Faculty of Management in Zaječar, Forest Kraljevica)

VOLATILITY OF WORLD STOCK EXCHANGE IN CRISIS SITUATION

The largest stock exchange today is the New York Stock Exchange (NYSE). The consequences of the crisis and political events are reflected of the crisis and political evevents are reflected on that stock exchange. Indices began to rise, much faster than the actual stock prices of those same companies. Investors were attracted by the high share price and expected further growth. The stock index is a basket of specially selected stocks. The stock exchange idex aims to show the direction and intesity of the movements of the value of shares that make up undex. Stock exchange indices are indicators of statistical instruments of stock exchange markets and are displayed daily. Having these facts and indicators, the autors of this paper, by comparative analysis of given periods, performed research and measurements in established crisis situations. The aim of this paper is to show the function of the stock market and its reaction. The results of the survey of bezan indices largely allow us to see the impact of stock exchanges in the crisis period on the transmission of instability.

1. INTRODUCCION

The stock exchange is the basic institution of any developed economy. The stock exchange has an impact on economic flows, economic structures, political, social and legal structure of developed economies. The most famous are the New York Stock Exchange, the London Stock Exchange and the Tokyo Stock Exchange. The characteristic for stock exchange business on a global level in 24-hour operation. Budgets when it comes to daily trading on all stock exchange can be expressed in hundreds of bollions of US dollars (Đorđević, 2015).

The New York Stock Exchange (NYSE) is the most famous and largest stock exchange in the world. There is a main room within the parquet where shares are traded with active shares and a smaller part of the parquet where bonds and inactive shares are traded. Members of the stock exchange of 1366 of them can participate on the floor in the trade of active and listet shares (Miletić, 2016).

All investitors who want to trade shares must give an order to a brokerage firm. In order to execute the order, the brokerage firm contacts the commission broker in the trading room. Commission brokers for purchase orders receive a commission. When the commission broker overbookes the orders, he takes over the broker on the floor who executes the orders.

The London Stock Exchange was founded in 1802. In 1995, the Alternative Investment Market was formed on the London Stock Exchange, where young companies that are not sufficiently developed are traded. Previously, there was a market for opinions on foreign exchange, stock, stocks and indices. It is now part of Eunext.

The Tokyo Stock Exchange was founded in 1878 and is the largest stock exchange in Japan and Asia. Bonds, stocks and financial derivates are traded on the

Tokyo Stock Exchange. It is divided into three parts. The first includes shares of the most famous and highest quality companies. The second represents stock with milder listing criteria. The third includes the turnover of foreign securities.

2. STOCK EXCHANGE INDICES

Stock market indices are indicators that summarize the performance of stock markets and are most often formed and presented on a daily basis. The importance of one stock exchange index is reflected in the fact that its movement shows the percentage change of the entire stock market. Having these facts in mind, the authors processed the three most important stock exchange indices in the period from 2005 to the beginning of 2022. Comparative analysis of empirical data yields the results that will be presented in this paper.

The Standard & Poor's 500, hereinafter referred to as the S&P 500, is the world's most famous stock exchange index. It is the best measure of the American stock market. This stock exchange index in the basket unites 500 leading companies from the United States.

Dow Jones Industrial Average hereinafter referred to as DJIA. It was created by the editor of the Wall Street Journal, Charles Dow. DJIA is the oldest market index in the United States. It has existed since 1897, when it was used to calculate the average of activities such as industry and railways. Today, an average of 30 shares of the strongest industrial companies are expressed.

The Nikkei was first introduced in 1949. Represents the average share price on the Tokyo Stock Exchange 225 shares are used to calculate it. The possibility of replacement annually is 6 shares. Six stocks come in and six come out of the package.

3. RESULTS

The research was conducted on the basis of public data from the site www.macrotrends.net. Data were taken for the period from 2005 to the beginning of 2022. The parameters of all indices were taken at the close of each year.

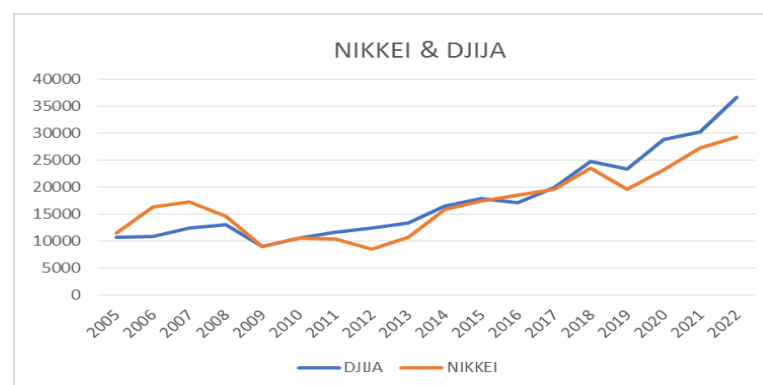


Figure 1.: Trends in Nikkei and DJIA index in the period from 2005 to the beginning of 2022 (source: to the author based on data www.macrotrends.net)

Figure 1. shows the movement of the DJIA and Nikkei indices in the period from 2005 to the beginning of 2022. Based on the above, we can see that

crisis situation that began with the economic crisis at the end of 2002 has a significant impact on the decline of the stock indices DJIJA and Nikkei index there was a decline in 2012. After this period, both stock exchange indices have been growing until the crisis situation caused by Covid-19 pandemic at the end of 2019. After this fall, the indices rose again.

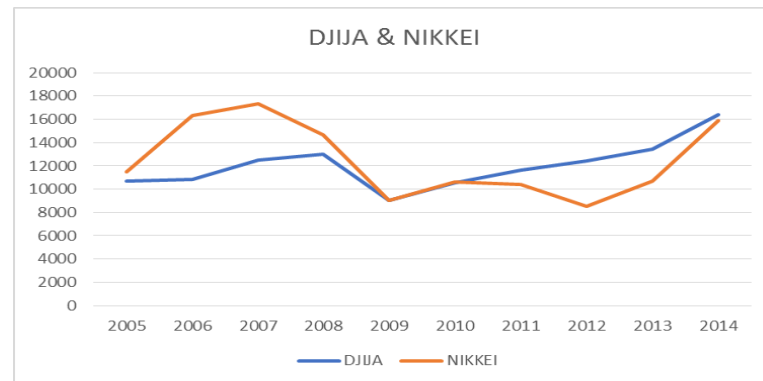


Figure 2.: Trends in the Nikkei and DJIJA index in the period from 2002 to 2014 (source: to the author based on data from www.macrotrends.net)

In figure 2. due to a clearer overview, the observatio was made in the period from 2005 to 2014. In this view, we see the decline of the index until 2009. The Nikkei had a significant drop in 2012.

In figure3. the autor also show the period from 2015 to the beginning of 2022. The indices had a decline in 2019, and then the value of the presented stock exchange indices continuosly increased. These two indices were taken for comparasion due to similar values.

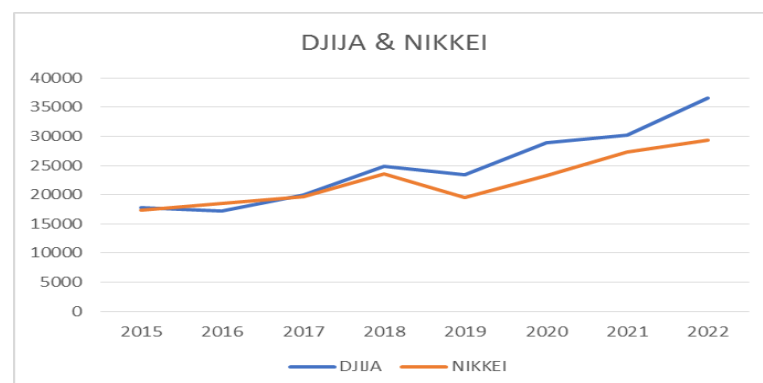


Figure 3.: Trends in the Nikkei and DJIJA index in the period from 2015 to the beginning of 2022 (source: to the author based on data from www.macrotrends.net)

The following iteration in figure 4. shows the movement of the world's most famous stock exchange index, the S&P 500. This index has been specially treated

by the author because it represents the 500 most important companies in the United States. It can also serve as a general example of market reaction to crisis situations.

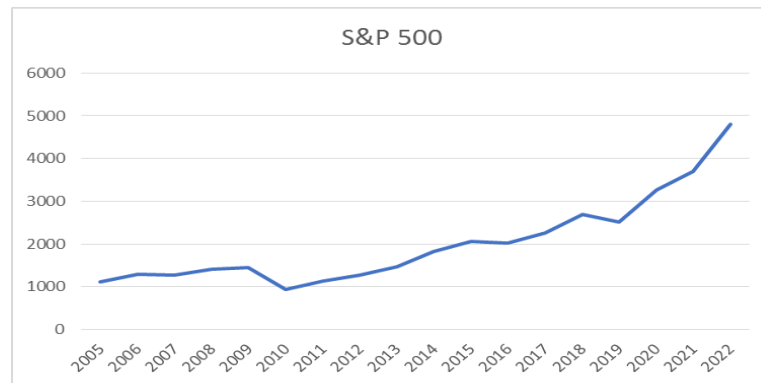


Figure 4.: Movement of the S&P 500 index in the period from 2005 to the beginning of 2022 (source: to the author based on data from www.macrotrends.net)

The S&P 500 index responds to crisis situations from 2008 to 2010 it recorded a decline in the index, followed by growth. The decline in the index is also noticeable during the Covid-19 pandemic. This is followed by a sharp rise in the index until the beginning of 2022. The crisis caused by war in Ukraine will be the subject of future research in order to have a clearer view of the reaction of stock exchange indices.

4. DISCUSSION

The aim of the research and development of this paper is to show the reaction of stock exchange indices in crisis situations. Based on this research, we can see that the well-known world stock exchange indices recover quickly after crisis situations, and then their growth starts. This is important for future investors to have a clear picture of index movements and market reactions. In the long run, investing through stock is profitable because after the crisis, the market recovers and grows.

The Belgrade Stock Exchange has two indices BELEXline and BELEX15. BELEXline is positioned as the basic index of the Belgrade Stock Exchange with the aim of describing capital movements as accurately as possible. This index most accurately determines the capital market because it includes the 100 best shares in its basket. According to the rules, there can be between 70 and 150 companies in this basket, the condition for inclusion in this basket is that shares were traded for at least of one hundred trading days in the previous four months, says Mališić (2007).

BELEX15 is a market capitalization weighted index, which is not adjusted for dividend payments. It is not protected from the dilution effect that occurs due to the payment of dividends. BELEX15 is weighted exclusively by the market capitalization that is in free float. BELEX15 consists of shares that are traded by

the method of continuous trading and that have met the criteria for entering the index basket, believes Miletić (2016).

5. CONCLUSION

Stock market operations are the basic indicators of the financial market in every country. The development of stock exchange business creates chances for the development of the entire economy. Indices S&P 500, Nikkei, DJIJA show us how the market reacts in developed countries and how the market itself overcomes crisis situations.

During the Covid-19 pandemic, many stocks fell unrealistically, and with the exit from the isolation of individual countries, the indices recorded consolidation and then growth. The best time to invest in the stock market is when many withdraw funds under the emotions that currently overwhelm them. Long-term investments in stocks is always very profitable. This will be the topic of some of the future works where the author will compare stock market indices, values and yields of gold and precious metals.

REFERENCE

1. Dugalić, V., Štimac, Š., (2005) *Osnove berzanskog poslovanja*, Beograd, Stubovi kulture
2. Đorđević, B. (2015) *Berzansko Poslovanje*, Zaječar, Fakultet za menadžment Zaječar
3. Mališić, A. (2007) *Osnovna pravila i tehnike investiranja u finansijske instrumente*. Finansije, Ministarstvo finansija, Beograd, str 147-167.
4. Miletić, S. (2016) *Portfolio menadžment*, Visoka škola za poslovnu ekonomiju i preduzetništvo, Beograd
5. www.macrotrends.net

Dejan Šakić (Croatia, University Applied Science Zagreb, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod)

INFLUENCE OF ERP IMPLEMENTATION ON FOUNDRY EFFICIENCY

In this paper the role of ERP (Enterprise Resources Planning) computer program in the production of pressure cast parts for the automotive industry is analyzed. The monitoring of engine holder casting has been done by phases in order to record and select the scrap by the place of appearance. The characteristic tests are performed on the holders as well as on the steel sleeves after the heat treatment simulation. On the basis of the lab tests, it is determined that the causes of scrap occurring lie in the choice of melting temperature of melted aluminum. The whole production process monitoring is important for the increase of financial effects through the lowering of scrap and savings on tool costs, as well as for lowering of indirect losses during the machine delay.

Faulty and for proper use unusable castings, which do not fulfill the norms or with the buyer agreed terms of delivery, represent the scrap [1, 2]. In the foundry, the scrap is manifested in material, energy and labor loss. During the pressure casting of Al die casting carriers, steel sleeves are suffused into them and a thread is cut in afterwards. During the cutting of the threads not only the wear of the cutter is observed but also their breaking. As a consequence of that, not only that the costs are rising (the price of cast also) but from quality casted carriers scrap is often made. The goal of ERP implementation is monitoring of the production supply (unfinished production).

The implementation of ERP is analyzed on the example of one foundry of pressure casting. In this foundry, the pressure casting equipment was installed, capacity of 250 casts per day.

A few years ago, a special automatized and robotic production cell was bought. The crucial factor in making the decision for acquiring this equipment was the fact that in the car industry a trend of increasing number of Al castings was noticed [3]. Beside small mass, anticorrosive and good mechanical characteristics are also expected from those castings. Also, additional education of the responsible foreman and workers on melting and casting is required. The goal was to predict the consequences of possible technological indiscipline and/or work disregard.

After adoption of production process and successful first series, the problems occurred during the machining of castings by cutting the threads in suffused metal sleeves. Therefore, detailed tracking of the whole production process was performed with the usage of ERP. It is important to lead the technological process in that way that the casting reaches satisfactory mechanical properties in casted condition, that means without additional heat treatment.

Beside the chemical compound and structure of alloy, it is important to uphold the temperature of casting alloy in determined limits. The optimal

temperature of alloy depends primarily on the procedure of pressure casting, choice of casting tool temperature, as well as on the shape and dimensions of cast.

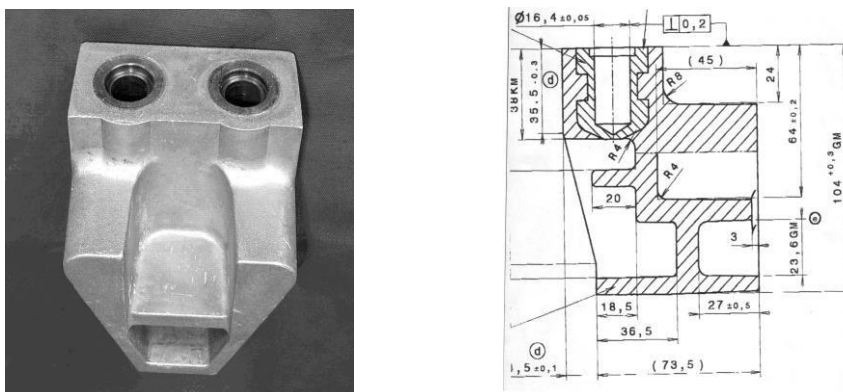


Fig. 1 The Aluminum carrier design with its geometric-dimensional characteristics



Fig. 2 The appearance of damaged cutters prior to thread cutting in the sleeve

With detailed control of breaking surfaces of the cutters, the following was noted: 1) the cutters broke at the angle of $\approx 45^\circ$, this indicates that the condition of the basic material of the cutter is such that it gives satisfactory strength, otherwise the break would be vertical; 2) locally jamming of the cutter basic material is noticed as a result of straining bigger than the limit of basic material; 3) carriers with the broken cutter represent scrap; 4) delay because the cutter replacement significantly increases the costs and disrupts the production „rhythm”.

For the needs of researching of scrap occurring causes it has been randomly chosen: 5 castings – carriers before thread cutting, and 10 raw (as delivered) steel sleeves. Those samples are taken for chemical compound, structure, hardness and dimensional control tests for determination of sample problem occurring during the thread cutting in the sleeve. The goal is simulation of heat treatment conditions to which sleeves are exposed during suffusing of Al alloy. Two temperatures of sleeves heating are chosen: 1) 730°C , as higher temp. which gives „better“ casting to alloy; 2) 690°C , as temperature suitable for alloy AlSi9Cu3(Fe) .

Testing results are shown in table 1 and in table 2. The control was made on 3D device MERLIN 1100 TWIN STAR. Diameters of sleeve holes (and cylindrical) have been controlled in two spots: 1.= d_1 at depth of 8mm; 2.= d_2 at depth of 25 mm (*Mean value of three measurements).

Table 1

Results of 3D control of sleeves in Al carriers

Carrier Nr.	Cylindrical /0/, mm		Parallel of centerlines //, mm	Verticality of centerlines on casting head, mm	Spacing of centerlines, mm	Smallest diameter □, mm
	Brace sleeve					
	I	II				
1	0,010	0,0006	0,0384	0,0527	50,1621	16,4147
2	0,036	0,0033	0,0214	0,0145	49,9116	16,3393
3	0,0077	0,0015	0,0388	0,0107	50,0415	16,3921
4	0,0131	0,0167	0,0798	0,0341	50,0260	16,3478
5	0,0127	0,0070	0,0138	0,0073	50,0443	16,3885

Table 2

Results of dimension control and measurement of hardness of steel sleeves after simulated heat treatment

Steel Sleeve No.	SLEEVES "ANNEALED", 730°C			SLEEVES "ANNEALED", 690 °C		
	Smallest diameter □, mm	Cylindrical /0/, mm	Hardness* HB	Smallest diameter □, mm	Cylindrical /0/, mm	Hardness* HB
1	16,4637	0,0059	271	16,4596	0,0158	248
2	16,3709	0,0126	264	16,3653	0,0097	260
3	16,4151	0,0143	274	16,4203	0,0164	281
4	16,4063	0,0094	259	16,3985	0,0083	230
5	16,4408	0,0132	268	16,3487	0,0119	256

By smallest diameter (request according to documentation: min. 16,350, max. 16,450 mm. The results of 3D control of Al carriers indicate the following: 1) perpendicularity of centerline in sleeves on head at all 5 castings is within allowed tolerances; 2) the spacing of centerline holes in all 5 sleeves is within allowed deviations; 3) the measured diameter of sleeve hole at 3 of 5 shortly annealed sleeves is smaller than minimally allowed for thread cutting M18×1,5.

REFERENCES

1. HRN:EN: ISO 9001:2002. Sustavi upravljanja kvalitetom-Zahtjevi (ISO 9001:2000, EN ISO 9001:200), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, 2003.
2. Stephan Hasse, Pogreške na odljevcima (preveli s engl. prof. Dunja Palijan i mr. sc. Mile Galić), Hrvatsko Udruženje za ljevarstvo, Zagreb, 2003.
3. Davor Stanić: Lijevanje aluminijske slitine "SILAFONT 36" u CIMOS-u ROČ; Zbornik savjetovanja znanstveno-stručnog ljevačkog skupa, 1-13, Zagreb 2007.
4. UNI 5076 Pressure Die Casting Aluminium-Silicon- Copper-Iron Alloy (Si 12%, Cu 2%, Fe 0,9%), Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1974-12-31.
5. EN 10083-1, Vergütungsstähle, CEN, 1991.

Ivan Nikolić (Croatia, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod)

OPTICAL MEASUREMENTS OF SURFACE ROUGHNESS CUT WITH WATERJET

The paper describes method for optical measurement of surface roughness (R_a) with computer vision. The equipment for roughness measurement is expensive, and the process itself is also time-demanding. This study is focused on the design of an instrument for non-destructive measurement and the determination of the roughness class by computer vision. The instrument needs to be of simple design, cost accessible and safe in practical application. It is intended for the fast determination of the roughness class of work specimens obtained by water jet cutting, and the setting of cutting parameters in accordance with the obtained results. The principle of instrument operation is based on measuring the intensity of the visible light spectrum reflected from the surface of the specimen and the correlation between these values and the measured roughness values.

Reliable measurement of surface roughness (R_a) is critical to quality control in a wide range of manufacturing processes. The purpose of this project is to design a simple, cost accessible device for non-invasive measurement of R_a in process of waterjet cutting. This device must capture the intensity of visible light reflected by a set of controlled surfaces and correlate this value to a measurement of R_a for cutting parameters (cutting speed, abrasive flow, depth of cut and pressure).

Many surface roughness measurement devices currently exist in industry. There are three main categories: stylus-type contact measurement instruments, non-contact laser measurement devices, and non-contact white light measurement devices. All three are currently used in a variety of applications to analyze surface roughness among other surface properties of varying types of material.

Non-contact surface measurement devices using white light are much less common in industry. These devices utilize the established technique of interferometry with white light along with a CCD camera to analyze surface roughness of varying materials. This process involves emitting white light on both the test surface and a high-precision reference surface, capturing these images with the CCD camera and superimposing these images in order to get an accurate analysis of the surface. One major drawback of this particular device is the necessity of a high-precision reference surface. This can prove to be especially inconvenient when analyzing materials over a large variety of surface finishes [1].

Waterjet cutting is often used during fabrication of machine parts. Waterjets are fast, flexible, reasonably precise, and in the last few years have become friendly and easy to use. They use the technology of high-pressure water or a mixture of water and an abrasive substance being forced through a small hole to concentrate an extreme amount of energy in a small area (fig. 1, a).

While cutting with water is possible for soft materials, the addition of an abrasive turned the waterjet (abrasivejet) into a modern machining tool for all materials.

In fig. 1, b is showed dependences between the cutting speed and surface quality (Ra).

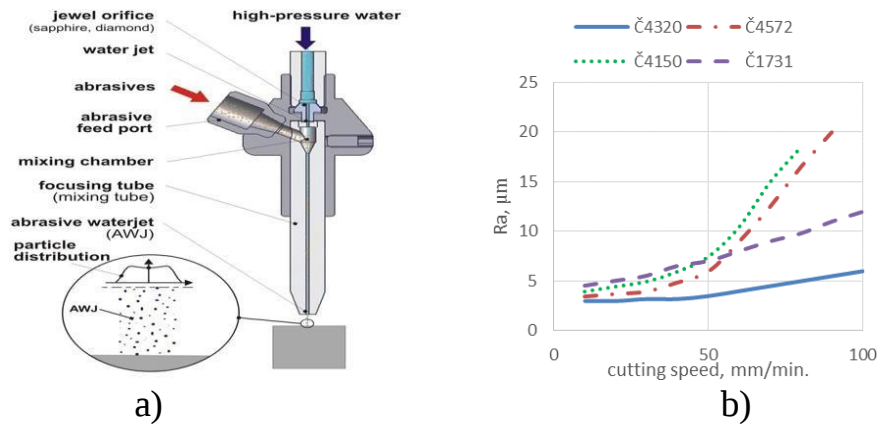


Fig. 1 Typical design of a pure waterjet nozzle (a) [3]; dependence of the surface quality (Ra) and cutting speed (b) [2]

The method of delivering light, orientation between light source and sensor, is the most important factor to consider. Light dispersion affects the accuracy and repeatability of measurements. It also affects the versatility of the sample areas it can measure and the cost.

In order to address the concerns of working distance and the problems associated with a changing distance, as well as having a compact design, an attractive set-up is a vertical orientation. If the light is collimated, it does not need to be focused at an exact distance from the sample. This reflected light, less than 25 % of the magnitude of the original light source, less because the sample is not assumed to be a perfect mirror, but is captured by the optical sensor, which sits off to the side. This orientation is the most compact. The amount of light captured by the sensor in the vertical orientation is not affected by the working distance, because there is no angle of incidence. This set-up also requires that the light source be especially bright, because it will lose at least 75 % of its magnitude from two passes through the beam splitter [1] (fig. 2).

Prototype box was designed to assembly light source (purple led), arduino microcontroller, beam splitter, signal led and usb camera. It is critical to have sufficient clearance between the device and the sample. Prototype box was designed in solidworks and exported in STL format for 3D printing. It is made of Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and it is consist of two main compartments (fig. 3). One compartment (larger) is for light source, Arduino microcontroller, beam splitter, signal led and the other one is for usb camera. A computer equipped with our LabVIEW interface must be connected to the web cam housed inside box during use.

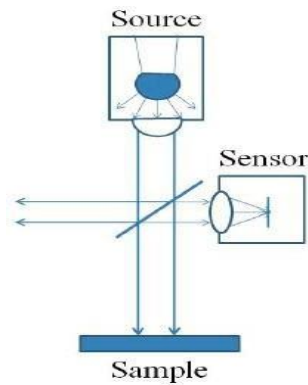


Fig. 2 Vertical orientation [1]

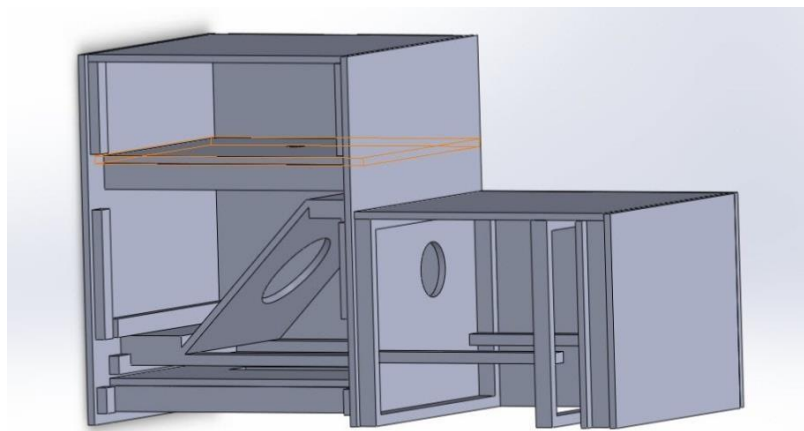


Fig. 3 Prototype box design

The primary function of device is to receive human commands and output results. Device is constrained to accomplish this by measuring the intensity of reflected light, including the three main functions: providing light to the surface (LED), capturing reflected light (Usb camera), and processing the captured image (LabVIEW). Application logic is showed in flowchart (Fig. 4).

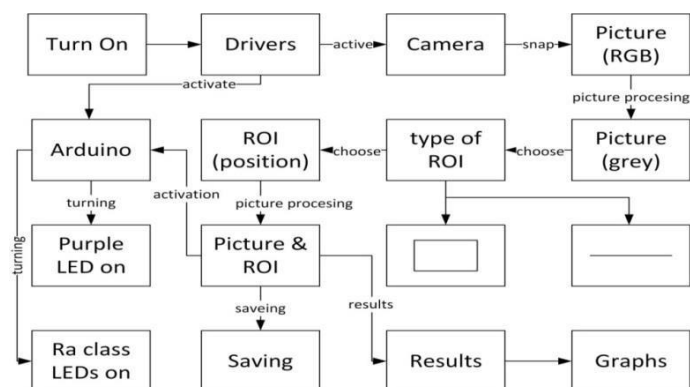


Fig. 4 Application flowchart

GUI is designed to simplify user action and monitoring over device measuring (fig. 5). User needs to perform following steps. First, the user needs to physically position the device directly above the surface being measured.

After the prototype is positioned correctly, turn “ON” switch to power on light source, then use “Snap” button on the GUI to capture an image, and choose ROI (type and position) which is shown with green color on third window. ROI type can be area or line. In order to ensure that the user captures an image of the desired surface region, there is a “Live Image” window featured on the GUI to allow the user to see the potential image to be captured. Lastly, the user turn on the “Process” switch to activate application process of the captured image and output Ra value.

Aplication has ability to save captured images (raw) in local maps and done software processing later or save already processed images together with results.

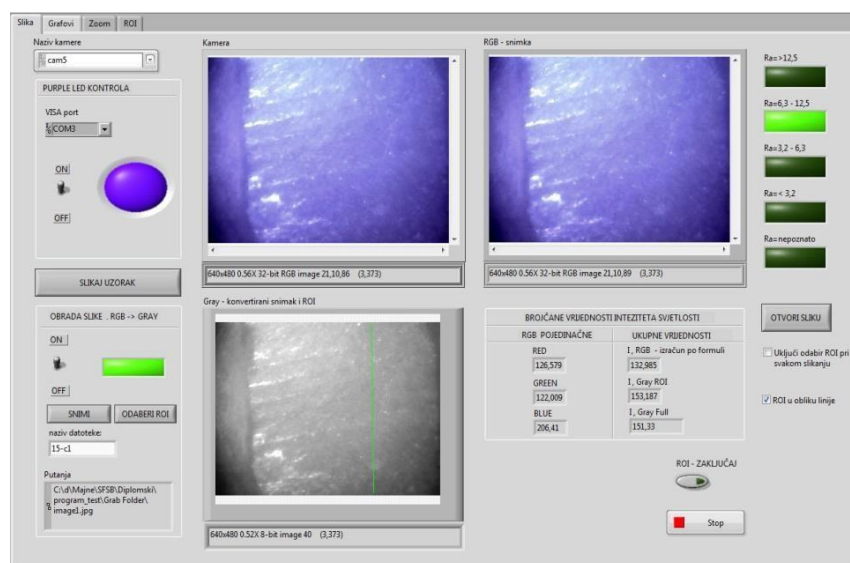


Fig. 5 Graphical user interface (GUI)

CONCLUSION

After final testing and measurement of test samples, a prototype device for determining the class of roughness using computer vision has shown that the extensive software solutions and the equipment with very affordable cost can be used to build the device, which in certain conditions of production, can replace very expensive and sophisticated equipment.

Computer vision system allows the user to check the measurements in the production without interrupting the production process.

Advantage of a designed computer vision system is that it does not require big investments, additional training of workers or major changes in the existing production process. The system for determining the grade of roughness is proposed as a possible solution for facilities with serial production, where without interrupting the process can check the status of samples and then, if necessary, adjust the settings on the machines.

For more precise surface roughness classes, further testing and equipment upgrades are needed.

REFERENCES

1. Antonini, Kyle; Geiger, Derek; Orizondo, Ryan; Szvarca, Tiago: *Designing an Optical Device for Measuring Surface Roughness*, 2009.
2. Živković, Dragan; Šotra, Vesna; Žunjanin, Radiša; Medenica, Miroslav: *Kvalitet površina i tehnološki parametri rezanja materijala vodenim mlazom*, 2010.
3. Web page: <http://www.swa.se/page/132/industrial-waterjet.aspx> (12.07.2015)

Janjić I., Opačak I. (Croatia, Slavonski Brod, MEFSB)

DETERMINATION OF FREQUENCY FACTOR AND ACTIVATION ENERGY FOR BORONIZING OF C15 STEEL

Kinetics of boride layers formation on C15 carbon steel has been investigated in this paper. Pack boronizing is carried out at a temperature range of 870-970 °C in durations of 4-8 h. Average thickness of obtained layers ranges from 65,3 to 215,5 μm. Values of frequency factor ($3,02 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) and activation energy (195,43 kJ/mol) are determined by means of Arrhenius equation. Based on these values, empirical expression showing functional relationship between boride layer thickness and boronizing temperature and duration has been obtained.

Boronizing is surface treatment in which boride atoms, due to small diameter and high mobility, at elevated temperatures diffuse into metal surface and form intermetallic compounds with atoms of base metal. Obtained layers, borides, are extremely hard which improves surface resistance to abrasive wear. Moreover, boronizing also improves resistance to adhesive wear and to corrosion in non-oxidizing weak acids, alkalis and molten metals [1]. All mentioned means, that with proper selection of boronizing and material, boronizing could extend machine part lifetime for 3 – 10 times [2]. Boronizing is most suitable for carbon and low alloyed steels, but it can also be applied on Ni, Co, Ti, W and Mo based alloys and sintered hard materials. Boronizing of carbon steels is usually carried out at temperatures 800 - 1050 °C and treatment durations 1 – 12 h. Obtained layer may consist of one phase (Fe_2B) or can be dual-phased ($\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$). Although FeB is harder (1800-2100 HV) than Fe_2B (1400-1600 HV), it is not desirable because of its brittleness [3-6]. Boronizing can be carried out in solid, liquid or gaseous media, and the most frequently used is pack boronizing. Many of process parameters (i.e. boronizing temperature and time, boron potential, substrate material) affect boronizing. In order to obtain desired properties of boride layer, it is very important to establish the process parameters. In this study, influence of boronizing temperature and duration with respect to average boride layer thickness obtained on C15 steel is analysed through application of Arrhenius equation.

Boronizing is thermo – chemical diffusion process. Diffusion in solids is thermally activated process of mass transfer related to atoms movement driven by a concentration gradient. Kinetics of diffusion layer growth can be analysed taking into account Fick laws or by a method based on Arrhenius equation. In this study, boronizing kinetics is analysed through use of Arrhenius equation:

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}, \quad (1)$$

where T – temperature, K;

D_0 – frequency factor, m^2/s ;

Q – activation energy, J/mol;

R –the gas constant, J/(mol·K).

Most of diffusion processes obey the law described by:

$$d^2 = D \cdot t, \quad (2)$$

where : d –diffusion layer thickness, m;

D – growth rate constant, m²/s;

t – diffusion duration, s.

Growth rate constant is also called diffusion coefficient or diffusivity. Considering (1) and (2), following equation can be derived:

$$d = \sqrt{D_0 \cdot t \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}} \quad (3)$$

Through usage of (3), and by knowing the values of frequency factor and activation energy, it is possible to predict diffusion layer thickness in dependence on diffusion temperature and duration.

Pack boronizing of C15 steel is carried out in Durborid 3 solid agent at 870, 920 and 970 °C, for 4, 6 and 8 h. According to selected parameters, 3² factorial design with 3 repeating of each case is defined, and 27 specimens with nominal dimensions Ø16×7 mm have been cut. After boronizing, all specimens were longitudinally cross-section cut and prepared for metallographic examinations (ground using up to 1000 grit emery paper, alumina polished and etched with 3 % nital). Metallographic examination revealed that borides formed on steel surface are compact and have pronounced saw-tooth morphology (fig. 1). Higher share of pearlite, apparent in diffusion zone, is result of increased content of carbon which is suppressed from the surface due to growth of boride layer. Average boride layers thicknesses are determined by metallographic line method and results are presented in table 1. Table 1 clearly shows that boride layer thickness increases with increasing boronizing duration and temperature. Although boride layer thickens increases with the increase of duration and temperature, growth rate slows down with the increase in duration, which corresponds to earlier studies [1, 4]. Since carbon does not dissolve in iron borides, it is suppressed under boride layer to create "carbon barrier" in diffusion zone, which slows down the growth of boride layer.



a) b) c)
 Fig. 1 Microstructure of boride layers, magnification 200:1
 a) □ = 870 °C, $t = 4$ h, b) □ = 870 °C, $t = 8$ h, c) □ = 970 °C, $t = 4$

Table 1

h Boride layer thickness, μm			
	$t = 4$ h	$t = 6$ h	$t = 8$ h
870 °C	65,3	93,4	97,4
920 °C	111,9	148,2	152,3
970 °C	165,5	208,0	215,5

As previously stated, there is a parabolic dependence between diffusion layer thickness and diffusion duration (2). In other words, equation (2) shows linear dependence between square of diffusion layer thickness and diffusion duration, and constant of proportionality is growth rate constant. Taking the square root of (2) gives:

$$d = \sqrt{D} \cdot \sqrt{t} \quad (4)$$

Equation (4) shows that the thickness of diffusion layer linearly increases with square root of time.

Dependence between growth rate constant and diffusion temperature is described by an Arrhenius equation (2). Taking the natural logarithm of equation (2) it follows:

$$\ln D = \ln D_0 - \left(\frac{Q}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} \quad (5)$$

Equation (5) reveals linear relationship between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal diffusion temperature, where Q/R is the slope of straight line and $\ln D_0$ is intercept of straight line and ordinate axis.

Since boronizing is diffusion process, it should obey parabolic law (2), i.e. its modified version (4), as well as Arrhenius equation (1), i.e. its modified version (5). Fig. 2a) shows the change in boride layer thickness with respect to boronizing duration and Fig 2b) boride layer thickness as a function of square root of boronizing duration.

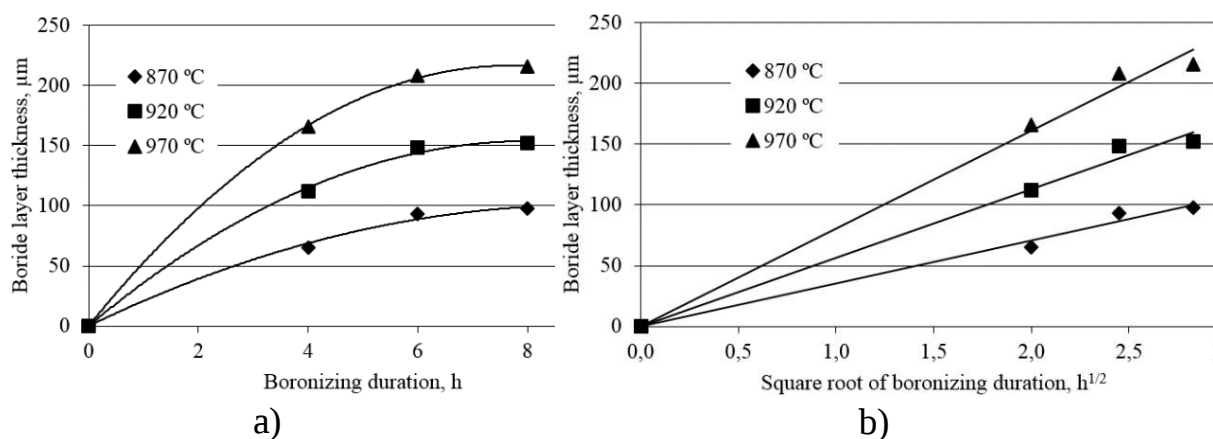


Fig. 2 Boride layer thickness as a function of: a) boronizing duration; b) square root of boronizing duration

The graphical representation in fig. 2, a confirms that diffusion rate decreases in time. It also shows parabolic dependence between boride layer thickness and boronizing duration. All mentioned is in accordance to (2). Plot in fig. 2, b confirm that thickness of diffusion layer linearly increases with square root of duration, which is in accordance to (4). Slope of each straight line in fig. 2, b represents square root of growth rate constant at given temperature. Estimated growth rate constants are given in table 2.

Table 2

Growth rate constants for boronizing of C15 steel

Temperature, °C	D , m ² /s
870	$3,455 \times 10^{-13}$
920	$8,874 \times 10^{-13}$
970	$1,802 \times 10^{-12}$

Dependence between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal values of boronizing temperature is given in fig. 3.

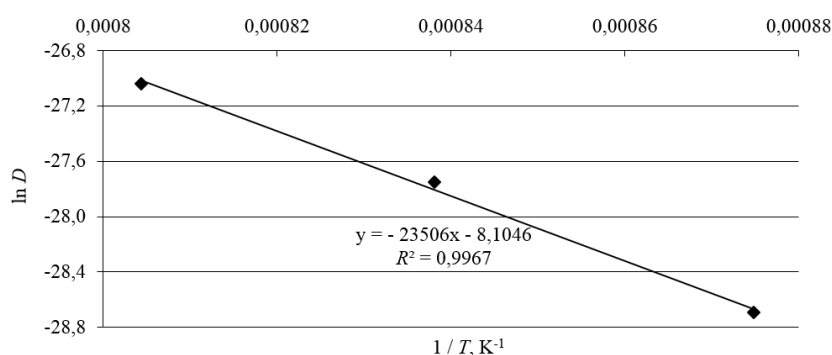


Fig. 3 Natural logarithm of growth rate constant as a function of reciprocal boronizing temperature

The plot in Fig. 3 reveal linear dependence between natural logarithm of growth rate constant and reciprocal value of boronizing temperature and confirm that boronizing follows Arrhenius equation (1), i.e. its modified version (5). Consequently, activation energy and frequency factor are estimated from the slope and y-intercept of the extrapolated straight line in Fig. 3. The frequency factor is $3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ and the activation energy is 195429 J/mol . If considering equation (3) and determined data, expression for boronizing of C15 steel in observed temperature range and duration is derived as follows:

$$d = \sqrt{3,02 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot e^{-\frac{195429}{R \cdot T}}} \quad (6)$$

CONCLUSION

Boride layers formed on C15 steel are compact and have pronounced saw-tooth morphology. The thickness of boride layer strongly depends on boronizing temperature and duration. Increase in boronizing temperature and/or duration increases boride layer thickness. The use of kinetic method based on Arrhenius equation has confirmed diffusion nature of boronizing. Frequency factor and activation energy values have been determined, and empirical expression for boronizing of C15 steel has been derived. This expression is convenient for technological and industrial application, and could be used for estimation of boride layer thickness in dependence on boronizing temperature and duration.

REFERENCES

1. Matijević B. *Evaluation of boride layer growth on carbon steel surfaces* / B. Matijević // *Metal Science and Heat Treatment* – 2014. – Vol. 56 – No. 5. – P. 269-273
2. Stewart K. *Boronizing protects metals against wear* / K. Stewart // *Advanced Materials & Processes* – 1997. – Vol. 151 – No. 3. – P. 23-25.
3. Krumes D. *Površinske toplinske obrade i inženjerstvo površina* / D. Krumes. *Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu* – 2004. – P. 103-114.
4. Yu L.G. *FeB/Fe₂B phase transformation during SPS pack-boriding: Boride layer growth kinetics* / L.G. Yu, X. J. Chen, K. A. Khor, G. Sundararajan // *Acta Materialia* – 2005. – Vol. 53 – No. 8. – P. 2361-2368
5. Genel K. *Boriding kinetics of H13 steel* / K. Genel // *Vacuum* – 2006. – Vol. 80 – No. 5. – P. 451-457.
6. Ipek M. *Investigation of boronizing kinetics of AISI 51100 steel* / M. Ipek, G. Celebi Efe, I. Ozbek, S. Zeytin, C. Bindal // *Journal of Materials Engineering and Performance* – 2012. – Vol. 21 – No. 5. – P. 733-738.

Mijat Samardžić (Croatia, Slavonski Brod, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod)

INFLUENCE ON THE WORKABILITY OF PRODUCTS WITH WELDED SURFACES

The research investigated properties of aluminum bronze welded to structural steel St 52-3 N. Surface material CuAl-A3 was welded in one and two layers. There were dimension, metallo-graphic examination of structures and hardness measured before and after heat treatment and after pressurization of tested specimens. It was determined that the specimens achieved the best performance by welding two layers of surface material, by postweld heat treatment and by "hammering".

Aluminum bronze, both forged and cast, can be welded. In order to achieve good results, producers of filler materials recommend electric arc welding under protection of inert gas. As a rule, postweld heat treatment is recommended to remove residual stresses, as well as to improve corrosion resistance [1]. Al bronze has a low friction factor, which, in the conditions of metal/metal contact, can contribute to lowering of the scuffing risk. By assuring the adequate hardness of filler layer, it is possible to increase its wear resistance. The paper presents properties of surfacing by welding in two layers with filler material CuAl-A3 [2]. Specimens were processed by postweld heat treatment and subjected to hardening by simulated "hammering" under different pressure loads. The research aim was to determine dependence of surfaced layer on selected parameters of thermomechanical processing by analyzing the structure and results referring to thickness and hardness of the surfaced layer. With the development of technology and new types of filler material, there were preconditions made for more intensive usage of surfacing when producing parts for various purposes, when necessary to prevent transfer of carbon steel particles to corrosion resistant Cr-Ni steel.

Parameters of surfacing aluminum bronze on steel were defined on the basis of recommendations of filler material producers. In order to perform experiment, the surfacing speed was 0,6 m/min, surfacing voltage was 22 V and current was 200 A, [3]. The base material was preheated to a temperature of 150°C. By Metal Inert Gas procedure, base material St 52-3 N [4] was surfaced with two layers of aluminum bronze CuAl-A3, according to AWS A5.7 class ER. Surfacing was performed with the aim to minimize the amount or to avoid the presence of base material particles in the upper layer.

There were three groups of specimens prepared out of the surfaced plate. Specimens were marked by 1, 2 and 3, as follows:

- the group 1 of specimens was not submitted to postweld heat treatment or any other treatment after surfacing;
- the group 2 of specimens was heat-treated after surfacing. Heat treatment was selected in accordance with the diagram of Cu-Al

condition, as shown in the Figure 1. Heating was performed in electric chamber furnace, at 600 °C for 2 hours, and then cooled by air stream;

- the group 3 of specimens was heat-treated after surfacing and then pressured under 100÷400 kN with the aim to simulate „hammering“.

On the specimens it was necessary:

- to check the presence of base material particles in the first and second surfaced layer by metallographic analysis of cross-section;
- to measure dimensions and hardness by HV1 on the cross-section before and after heat treatment of specimens and after pressurization („hammering“), in order to determine influences of thermomechanical process on the properties of surfaced layers.

The testing machine Amsler was used to perform pressurization of surfaced layers in tested specimens. Pressure forces were within the range of 100÷400 kN. Pressurization with force of 300 kN resulted in significant increase of values for hardness if compared to the values of initial measurements.

Heat treatment after surfacing was required for several reasons. The most important reason is found in the fact that because of slow cooling, there were $\square_2$ brittle crystals formed in the surfaced layer, which are prone to corrosion. Furthermore, heat treatment can reduce residual stress, which can contribute to occurrence of strain corrosion [5].

Results of hardness, measured by the HV1 method before and after heat treatment, indicate the increase of hardness value in the fusion zone, marked by C. It was noticed that there were no changes in levels of hardness in specimens after heat treatment if compared to those achieved after surfacing.

CONCLUSION

Experiment results indicate the need for careful selection of parameters of surfacing, parameters of postweld heat treatment and size of the force while „hammering“ the surfaced layer. Analysis of experiment results led to conclusion that selection of parameters can enable achievement of surfaced layer with properties that can be also „insulated“, in the sense of separating carbon steel from corrosion-resistant Cr-Ni steel in conditions of adhesion contact. Homogenized upper layer of aluminum bronze without base material particles can be achieved by surfacing and machine processing of surfaced layer to the thickness of ≈ 6 mm. If wanting to process the surfaced layer by machine to lower thickness, for example under 4 mm, it would be necessary to determine maximum thickness of the first surfaced layer. That thickness would represent a limit under which surfaced layer should not be processed, and it would be necessary to perform surfacing in two layers. In addition, further research can be directed towards checking of influences of fusion zone on the properties of surfaced layers under conditions of tensile and shear stresses.

REFERENCES

1. G. W. Lorimer, F. Hasan, J. Iqbal, and N. Ridley. *Observation of Microstructure and Corrosion Behaviour of Some Aluminium Bronzes*, Br. Corros. J. 21(1986)4, 244-248.
2. P. Weill-Couly. *Welding aluminium bronze castings*, Proc. Int. Conf. on Welding of Castings, Welding Institute, Cambridge, 1977, pp. 253-266.
3. AWS A5.7 class ER, Copper Alloy Welding Wire – Wisconsin Wire Works, Inc., 1994.
4. DIN 17100, *Steels for general structural purposes*, 1972.
5. T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof. *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009, 5, pp. 1-11.

Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies)

CONTACT STRESSES IN ELASTIC AREA AND THEIR IMPACT ON THE CALIBRATION OF CHAINS WITH RINGS

This paper presents, in literature, well known expressions for the determination of contact stresses and deformation at the point of contact of two elastic balls. The contact stress has been analyzed in the calibration rings process of mining chain (19x120) mm in the area of elasticity. The problem is solved numerically using the finite element method (FEM) taking into account the effects of friction, and the obtained results are shown graphically and as an attachment, of this analysis, there has been shown the appearance of mechatronic devices.

Contact problems and methods of solving them earlier were based on approximate dependencies and are predominantly used the results obtained by experimental tests. But, due to the change of boundary conditions (with an increase of compression force) contact problems basically are nonlinear. Specifically, when two bodies are in contact the touch is on point or line, in the absence of the force of mutual pressure. However, in the effect of the force, due to elastic deformations occur touching (contact) surfaces, on which act stresses that we call the contact. These stresses are of a local nature and stresses fall rapidly with distance from the center of the contact surfaces, which can be seen from the results of research by many authors, [1,2]. As far back as 1881, Hertz gave the analytical solution of such a contact problem taking into account the mutual pressure of two elastic bodies [2].

The development of numerical methods, based on (FEM), considerable progress also was made in the numerical simulation of such problems. Still, the complexity of the configuration structure, as well as inclusion in the analysis of material nonlinearity often represents a problem in the analysis of stress state with the FEM method. All this is due to the complexity of the mathematical description of the boundary conditions at the point of contact of two bodies during loading. The author of this paper will analyze changes of stress at the point of contact, in professional practice, for transmission of power and motion of frequently used mechanical elements - chain with rings. Researches on the subject of elasticity of metal were processed in the papers [5-13].

The studies were conducted by analyzing stresses in the elastic area of mining ring chains (19x120) with its "calibration" [3, 4]. Assuming that the dimensions of the contact areas are small compared to the radius of curvature of the contact surfaces, the pressure force acts in the direction of the normal to the contact surface and as if on the surface of contact takes place only normal stresses. There will be presented the results in 3D parametric model in the program of Pro ENGINEER previously being discretized the model [3, 4].

Problems of contact in most cases can be reduced to elementary cases and their analytical expressions can be found in the relevant technical literature [1-3]. By analyzing the contact model of mining ring chains we'll present analytical expressions for the dimensions of the contact surfaces (a) and a maximum contact stress (p_0) in case the pressure of two elastic balls [2].

Two elastic balls of radius R_1 and R_2 (Fig. 1.) of a different material, elastic modulus E_1 and E_2 , Poisson's coefficients ν_1 and ν_2 , are touching at a point O and have a common tangential plane ($z = 0$). When both balls along the O_z axis are thrust by force F , the surroundings of contact points O is deformed by spreading with increasing force. As the deformation is symmetrical about O_z axis and the projection of the contact surface is a small circle of radius (a). The maximum contact stresses occurs in the center area, and is calculated using the following expression (1) [2]:

$$a = 0,721 \sqrt[3]{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}}, \quad p_0 = 0,918 \sqrt[3]{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}}, \quad (1)$$

where: $\frac{1}{k_i} = \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$; $i = 1, 2$

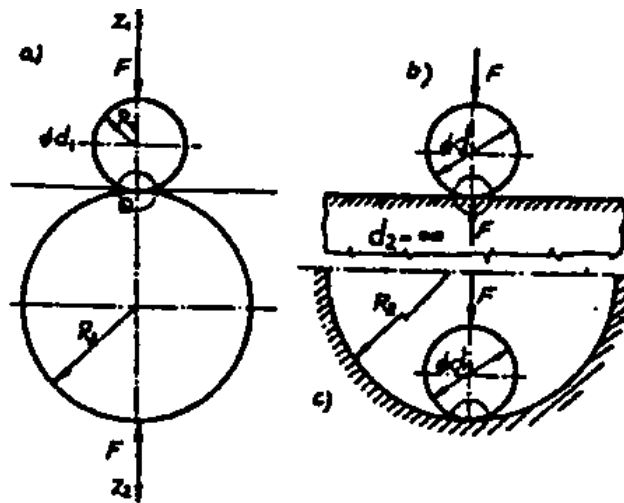


Fig. 1 Mutual pressure of two elastic balls.

In case of elastic balls pressure on elastic semi-plane (fig. 1, b) is applied the term (2) [2]:

$$a = 0,721 \sqrt[3]{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}}, \quad p_0 = 0,918 \sqrt[3]{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}}, \quad (2)$$

Hertz's results of pressure in a spherical bearing (fig. 1, c) can be calculated

using, in literature, the well-known term (3), [2]:

$$0,721 \sqrt{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1}{d_2}} \quad 0,918 \sqrt{\frac{F}{k_1 k_2} \frac{d_1 - d_2}{d_1 d_2}} \quad (3)$$

Calibration is performed by stretching the chain by force of certain intensity, resulting in permanent plastic deformation, so the chain length increases, as well as the contact surface between the ankles of the chain [3]. Based on the given drawings with indicated dimensions is created 3D parametric geometric model of the chain links (fig. 2), in the Pro-ENGINEER program. With a change of few parameters, this model can be used to represent chains of all possible dimensions.

Abstraction of model has already been made at this stage but due to the existence of geometry and loading symmetry (via two cross-sectional plane), which passing through the axis of the chain, as well as cyclic symmetry along the length of the chain, the model is reduced to the segment (fig. 3).

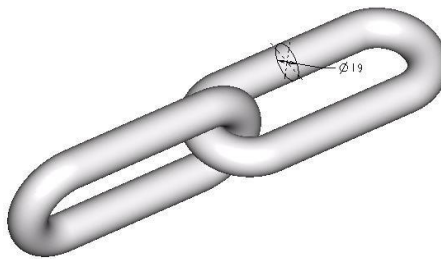


Fig. 2 The set of two ankles of chain created in Pro-ENGINEER program

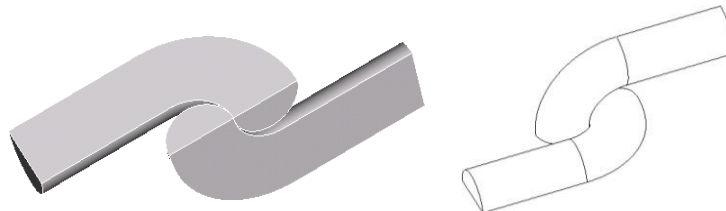


Fig. 3 The final reduced chain model, which takes into account all existing types of geometry and loads symmetry

For the purpose of rapid analysis of pure elastic model, the discretization of model was done in the Pro/ENGINEER program (fig. 4 to 7). The model is divided into two zones in the zone, where one of these zones, intended for the development of a finer mesh, is located below the expected area of contact between the links. The rest of the model is aimed at making coarse mesh. There were used the elements of tetrahedron shape with linear interpolation functions, which meet the needs of such defined analysis. These elements, otherwise, are not recommended for analysis involving plasticity [3, 4].

As noted above, in order to compare results with theoretical models, first was performed stress chain analysis, whereby the rings were joint by purely elastic material, the modulus of elasticity $E = 200000 \text{ N/mm}^2$ and Poisson's coefficient of

$\square = 0.3$. The schedule of equivalent stresses in the elastic area, as well as their schedules around the place of contact are illustrated by (fig. 6 and 7) [4].

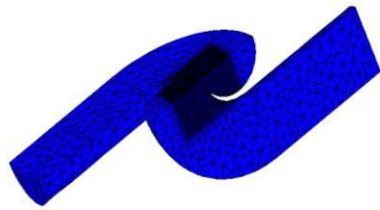


Fig. 4 Discretization of chain (FEM) elastic area

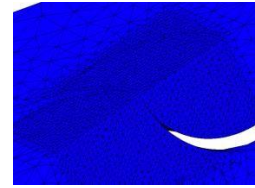


Fig. 5 Fine mesh zone, below the surface in contact

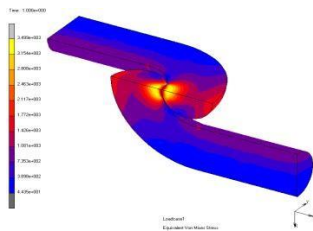


Fig. 6 The schedule of equivalent stresses being analyzed in the field of elasticity

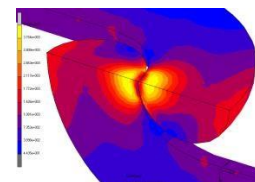


Fig. 7 The schedule of equivalent stresses around the contact zones

For the purposes of the Morava district economy, and more, at the TF of Čačak was developed, due to of applied experimental studies, mechatronics system for program stresses of various metal structures MECHATRONIC TF-1000/10 [4]. It is intended for static and dynamic stresses, strengthening of metal structures, their calibration, as well as experimental verification of the above mentioned theory. For its physical realization is used the optimally designed support structure, modern electronic-computer with modern software support, as shown in fig. 8 [4]. The basic hypothesis from which it proceeds is that for achieving the functional links of displacement (deformation) and force (stress) is possible their software control and management thanks to the feedback according to state [4].

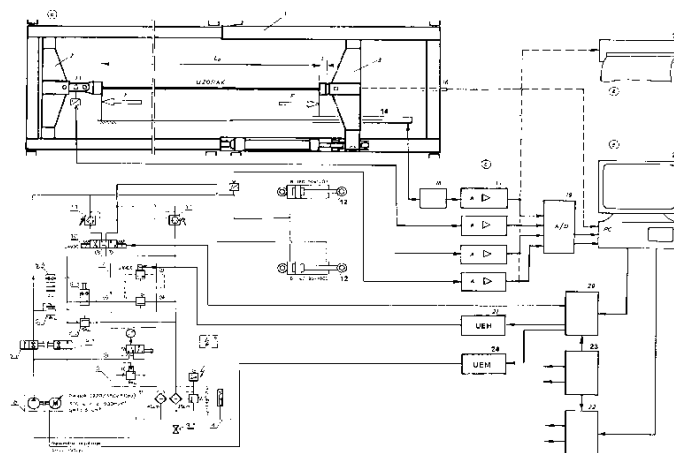


Fig. 8 The functional scheme of the device for programming the stress of metal structures

CONCLUSION

In defining the boundary conditions of contact stresses analytical analysis should take into account the nature of contact of two bodies and their characteristics (materials, processing, etc.) while using the FEM these problems are generalized. Distribution of von Mises equivalent stress gives a picture of the stress that occurs due to contact of two elastic bodies where it is clear that they are the largest in the contact center. The developed device is a true example of mechatronics systems.

REFERENCES

1. Stefanović S., Grujović N., Đorđević Z.: *Analiza kontaktnih naprezanja elastičnih tela*, NSS IRMES-98', MF-Beograd, 10. □ 11. X 1998. (str. 169-174).
2. Rašković D.: *Teorija elastičnosti*, Naučna knjiga, Beograd 1985.
3. Trajanović M., Kurunović N.: *Proračun naponsko-deformacionog stanja pri kalibraciji rudarskog lanca primenom MKE MF-Niš*, XII 2002. (izveštaj) (str. 35).
4. Živković M. : *Mehatronički sistemi za programsko naprezanje metalnih struktura*. Doktorska disertacija, TF-Čačak, 2006. (str. 140).
5. He, B., Sun, Y., Li, G., Zhao, M. (2012). Mechanical properties and strength analysis of the ring chains for mining equipment. *Yingyong Jichu yu Gongcheng Kexue Xuebao/Journal of Basic Science and Engineering*, 20 (5), pp. 828-836.
6. Leutin, A.P. (2012). Modeling the motion of connected bodies. *Mechanics of Solids*, 47 (1), pp. 19-33.
7. Rosenberg, Z. (1988). On the elastic strain coefficients of the resistance of metals. *Materials Science and Engineering*, 100 (C), pp. L9-L10.
8. Wong, T.E., Johnson, G.C. (1988). On the effects of elastic nonlinearity in metals. *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 110 (4), pp. 332-337.
9. Zhou, A.-G., Zhang, J.-X. (2010). Study on nonlinear elastic deformation behavior of magnesium, titanium and cobalt metals. *Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment*, 31 (8), pp. 50-53.
10. Kim, K.T., Suh, J. (1989). Elastic-plastic strain hardening response of porous metals. *International Journal of Engineering Science*, 27 (7), pp. 767-778.
11. Haddow, J.B., Faulkner, G.M. (1973). Strain energy function of a metal subjected to finite elastic volume change. *Applied Scientific Research (The Hague)*, 27 (4), pp. 265-273.
12. Pekárek, V. (2005). Thermo-mechanical anomaly developed in metals under elastic stress. *Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)*, 50 (2), pp. 177-194.
13. Yi, H.K., Kim, D.W., Van Tyne, C.J., Moon, Y.H. (2008). Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222 (2), pp. 117-129.

Milutin Živković (Serbia, Trstenik, High Technical Mechanical School for Professional Studies)

CONSTRUCTION AND PRODUCTION SPECIFICS OF CHAINS WITH RINGS AND MECHATRONICS SYSTEM CONTRIBUTION IN THE IMPROVEMENT OF THE SAME

Significant use of chains with rings, of varying quality, we find both in modern mining machinery and in devices and machinery of general purpose. The place of their application determines the usable qualities, in the true sense of these words. It, in particular, refers to the choice of materials, methods of making and methods of bringing it to a more accurate geometry of rings. This implies their calibration and thermal treatment after that. The paper analyzes the influencing parameters on the quality of special importance to the method of calibration, as well as the recommendations, taken from the literature, the allowable tolerances measures of rings and, therefore, the finished chain. Using the mechatronic devices "MECHATRONICS TF-1000/10, developed at the TF of Čačak, will be presented the possibilities of calibration of the chains and verification of exactly the same quality treatment chains of the Serbian chain producers Proleter from Arilja.

With respect to the place of application, rings with chains of circular cross section, can be classified on the uncalibrated and calibrated. This paper will analyze the problems in the development and operation of the chains, which are used, with the responsible devices and various technical systems i.e. on the calibrated chains. The special emphasis refers to the calibration process and opportunities provided by developed devices at the Technical Faculty in Čačak. It provides: calibration, static and dynamic testing of various devices and components, control and traceability of functional device parameters (force, speed, frequency). All this is allowed by built-in measuring and control equipment, all in the service of documenting and verifying the quality of the production of various samples. Researches on the subject of elasticity of metal were processed in the papers [5-13].

Chains with rings are an important subsystem of modern construction and general purpose devices. They use various kinds, types and structural forms of different quality of workmanship, which is shown by their rough division:

- chains of general purpose (uncalibrated chains): made with simple technologies and greater tolerances, without special tests and application of a less responsible place of installation;

- calibrated chains for special application conditions: are made of complex technology and require both calibration and thermal processing. Dimensions of rings must be made in a narrow tolerance fields and high resistance to wear and the core must be toughened. Therefore, the production of calibrated chains require special growing technology, as well as taking care of other no less important parameters: the choice of materials and the quality control at all stages of development, the formation of a chain link of rings and its knitting, welding of

rings and fraying edge of welding, calibration of chain, thermal processing of chain, control and testing.

The links of the ring chains are loaded with complex stress, so that the rings are stressed:

- on the flat part: to the stretching and bending;
- on the curve to: bending, shearing and contact stress;
- on the welding site to: stretching and bending (specially on the inside);
- on the flat part: to contact stress (due bumped into the sprocket, etc).

For these reasons, calibrated chains must be made of materials that must meet high structural requirements of tensile strength, shear and contact stress (at the site of contact of rings and sprockets), as well as increased requirements for dynamic durability and resistance of fractures shock loads. Therefore, surface of ring chains must be of increased hardness, fit of rings as correctly as possible and as much as possible contact surface, correct geometry but toughened core.

Calibration (tensile) force must be precisely defined so that it does not cause lasting (excessive) deformations and is performed before the final heat treatment in annealed state of the chain. It is achieved by increasing the contact area and mechanical structural reinforcement material of the ring production. In addition to calibration, in making high-strength chains, account must be taken on:

- *Choice of materials* for production of rings: include high-alloyed steels for hardening or cementing and starting materials are calibrated rods or wires;

- *Bending of ring chains*: it can be achieved in hot and cold state all depending on the diameter of the starting material and mechanical characteristics. It is customary to bend the materials to cool up to a diameter of $\square 26$ and over this point in the hot state [1-3];

- *Welding of the ring chains*: is used the pressure for creation of the joining forces;

- *Electro-resistant butt welding*: in the contact zone it leads to increased inflow current resistance, leading to a warming and both bonding and welding is accomplished by axial compressive force. Modern machines for welding of the ring chains, for the diameter of the blank ($\square 5$ to $\square 20$) mm, operate on the principle of electro-resistant welding pressure [2, 3];

- *Electro-arched welding*: is the procedure used for individual treatment, as well as methods of repairs of the ring chains. Gas welding treatment of rings is used in the chains of the material of the less responsible structures. For the production of chains with rings including the preparation diameter $\square \text{Ø}26$ is applied the technique of electro-arched welding sparks.

Calibration of chains is essential technology component and a guarantee of the accuracy of its dimensions as a prerequisite for reliable and lasting operation of a chain in exploitation conditions. Calibration method involves bringing the geometric dimension (length and width of ring chains), as well as total linear dimensions sets of chains on a specific measure. Calibrated are by 5, 7, 9 and in chains up to 1 m is

calibrated with the calibration force the whole chain. The principles of calibration are shown in fig. 1, and is characterized by the following methodology [3, 4]:

- set of the chain is tightened by the appropriate force (F_{kal}), with which is the same suffers elastic-plastic deforming which is manifested by increase of its total weight;

- upon relief and stoppage of the force effect is achieved the desired rates of the chain set.

Referring to fig. 1 can be seen that there is a lot of wastage of chain segment length, although their rates are within the limits of tolerance. A wide tolerance zone of sets chains (rings) during operation is resulting in uneven operation of conveyer, resulting in reduced service life. All this gives the character itself to calibration process, both in terms of reducing the deviation of the geometric shape (less wastage of the basic rings dimensions) and increase of wear resistance. The first problem is solved by constant improvement of production technology, in which certainly calibration has an important place, and the second problem is solved by the choice of materials and heat treatment [3-5].

The structure of the prepared material of rings should ensure that the rings be uniformly shaped (deformed plastically) at stretching. It's performed before the heat treatment in annealed state. Calibration force F_{kal} must cause permanent plastic deformations and must be significantly less than the tear force (F_{kid}), the term (1) [2]:

$$F_{kal} \ll F_{kid} \quad (1)$$

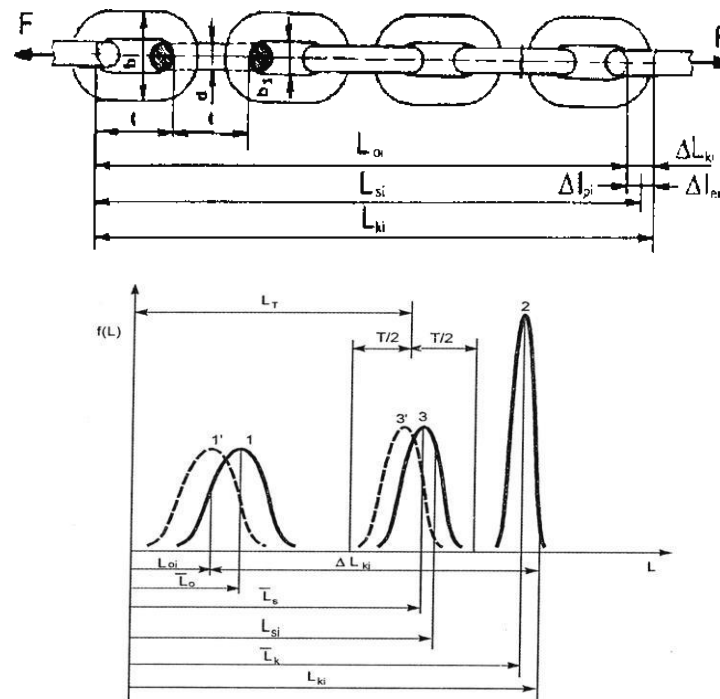


Fig. 1 Graphic view of "scattering" of the length domensions at calibration chain rings or set chains

- 1 (1') □ state under workload prior (without workload after calibration);
- 2 □ state under calibration load ($F_{kal} < F_{kid}$);
- (3') □ state under load (without load) after calibration.

Calibration force causes an increase in chain length L_{ki} , whose initial rate is L_{oi} , for the value of elastic-plastic deformation ΔL_{ki} , an expression (2):

$$L_{ki} = L_{oi} + \Delta L_{ki} \quad (2)$$

Then the chain (or chain segment) is unloaded up to the workload while the same due to elastic deformation, now has a real measure L_{si} , an expression (3):

$$L_{si} = L_{oi} + \Delta L_{ki} - \Delta l_{ei} \quad (3)$$

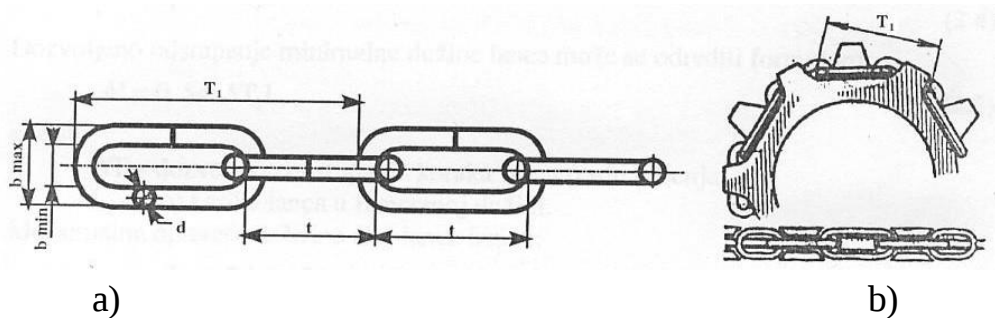
Project requirement is that the actual length of the chain to be within the tolerance field (L_T), ie. L_s (after calibration) to be within the medium length tolerances of the length (L_T), an expression (4):

$$L_s \square L_T \quad (4)$$

Thermal treatment: Chains of general purpose after welding are annealed or hardened and the chains of a larger capacity are improving, hardening, and in most cases released. High resistant calibrated chains are cemented, providing surface hardness (up to 750HV) and a depth of up to 2 mm. This provides high wear resistance and the core is characterized by clear toughness and hardness (about 450 HV) [4].

Control and testing of chains: They include, in addition to conventional, automated acceptance testing where the chains are labeled in the proper manner. All this is accompanied by an appropriate protocol on testing as document quality (material preparation, method and test method, used equipment).

Rings have a step (t), the diameter (d), the width (b), as can be seen from fig. 2. In the fig. 2, a and fig. 2, b are shown an appearance of coupled chain and sprockets. Faults in the making and the deviation rates are given in fig. 2, as well as wearing of the chain and sprocket leading to shock ring chains on sprocket teeth which causes additional dynamic forces and reduces the lifetime of the chain, as well as their durability. Its damage and breakdowns status are due to intense wear and tear, as well as due to incorrect geometry of the characteristic parameters (t , d , b)



a) characteristic dimensions of rings; b) appearance of chain in coupling with sprocket

Fig. 2 Typical geometric characteristics of the chain

After coupling with teeth of the sprocket, the chain must meet the longitudinal internal measure $T1$, whose dimensions can be seen in fig. 2, b.

Very important is the control and calculating parameter ($T_1=2\Delta t$). Experience from service shows that the mechanical destruction of the chain, despite the impact of the working environment, results as a consequence of internal differences of linear dimensions (of the horizontal ring step t_1 and vertical t_2), as well as of calibrated preparation of two adjacent rings (horizontal d_1 and vertical d_2) [1]. Based on this we can determine the actual rate of the coupled step (T_1), the expression (5) [1, 2]:

$$T_1 = t_1 + t_2 + d_1 + d_2 \quad (5)$$

When tightening, total length deviation can be determined by the expression (6), [1, 2]:

$$\Delta T_1 = \mp 1,484 \sqrt{\delta_t^2 + \delta_d^2}, \quad (6)$$

where: Δt – is allowed deviation of the step chain;

Δd – is allowed deviation of the calibrated diameter of chain.

By measuring the basic parameters of the chain rings (t or d) can be determined an error or another parameter, ie. They can be determined by using the expression (7) and (8), [1, 2]:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\Delta T^2 - 2,2 \cdot \Delta d^2}{2,2}} \quad (7)$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\Delta T^2 - 2,2 \cdot \Delta t^2}{2,2}} \quad (8)$$

Minimum deviation of the chain length can be determined by using the expression (9), [1, 2]:

$$\Delta L = 0,545 \Delta T_1 n_t \quad (9)$$

where: ΔT_1 – allowed deviation of the step chain after coupling;

n_t – the number of chain links in the metered length.

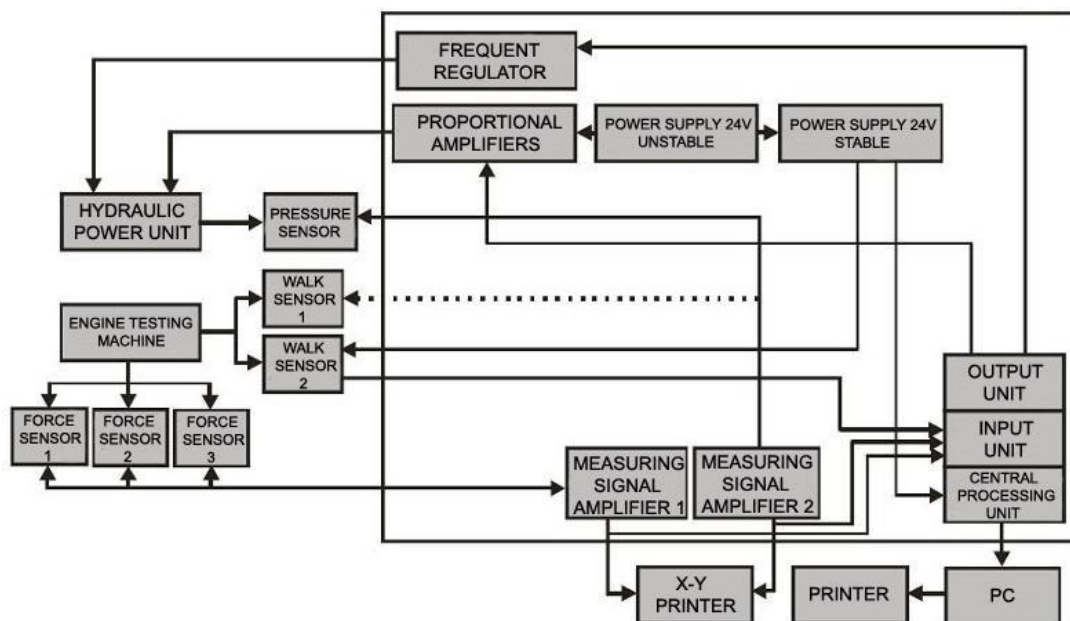
It is made in the form of spatial frame of dimensions 1,4×1,2×30 m, with the possibility of fixing the stationary part of the traverse, fig. 3 [5]. The movable part of the device (trolley) with rotary rolls (wheels of SL150) is movable parallel lead on the cast carrier U20. The supporting part of the structure is founded on profiles U14 every 2.5 m in length and further stiffened. Testing parts with reception devices are fixed to movable and immovable part of the device, and tensile force is depending on the length of the test by means of two hydraulic cylinders. The maximum tensile force of 1000 kN can be achieved at a distance of 5 m, 500 kN at a distance of 8 m and 300 kN at a range of 22 m [5].

As an example of using the program mechatronic devices is the calibration chain of MI „Proleter“ - Arilje. Same by dimensions and other technical characteristics meets a Serbian standard test procedure and the system step by step provides the calibration protocol. To record the rates of etalon is used encoder force of 100 kN, the appearance and location of the installation shows fig. 3 [5]. Based on

the recorded initial linear dimensions, in accordance with the expression (2) the program provides that "overtaking" is implemented in accordance of expression (3). Obtaining time dependence of force, idle, as well as their comparative values are given in the form of diagrams and statistic transparent protocol.



a)



b)

Fig. 3 Appearance (a) and steering system (b) of calibrator testing machine MECHATRONIC TF 1000/10

CONCLUSION

Recommendations for the manufacturing and control of ring chains parameters points out to the complexity of manufacture. Literature and

eksploatacioni indicators show that calibration has the most significant impact on the quality of calibrated chains [1-3]. Development of the device was implemented and supported by the Ministry of the Republic within the framework of the project "Development of methodology and equipment for mechanical testing of elements and complex structures with the aim of determining the quality of products in mechanical and electrical complexity". Experience in its implementation has shown justification of investments. This was confirmed by all the tests carried out so far (MMC-Kolubara, Electric Power Industry of Serbia and Montenegro, etc.).

REFERENCES

1. Gotovcev A, i dr: *Proektovanie cevniĥ peradač*, Moskva, *Mašinstrojenje*, 1973.
2. Odincov L.: *Uprošnenie i otdelka detalej*, Moskva, *Mašinstrojenje*, 1987.
3. **RUD-ova komercijalno-konstruktivna dokumentacija (Internet), 2015.
4. **Standard JUS C.H4.200.
5. Golubović D., Živković M.: *Kidalica kalibrator mehatronik TF 1000/10 (elaborat dogradnje)*, Tehnički fakultet - Čačak, 2003, (str. 28).
6. He, B., Sun, Y., Li, G., Zhao, M. Mechanical properties and strength analysis of the ring chains for mining equipment (2012) *Yingyong Jichu yu Gongcheng Kexue Xuebao/Journal of Basic Science and Engineering*, 20 (5), pp. 828-836.
7. Leutin, A.P. Modeling the motion of connected bodies (2012) *Mechanics of Solids*, 47 (1), pp. 19-33.
8. Rosenberg, Z. On the elastic strain coefficients of the resistance of metals (1988) *Materials Science and Engineering*, 100 (C), pp. L9-L10.
9. Wong, T.E., Johnson, G.C. On the effects of elastic nonlinearity in metals (1988) *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 110 (4), pp. 332-337.
10. Zhou, A.-G., Zhang, J.-X. Study on nonlinear elastic deformation behavior of magnesium, titanium and cobalt metals (2010) *Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment*, 31 (8), pp. 50-53.
11. Kim, K.T., Suh, J. Elastic-plastic strain hardening response of porous metals (1989) *International Journal of Engineering Science*, 27 (7), pp. 767-778.
12. Haddow, J.B., Faulkner, G.M. Strain energy function of a metal subjected to finite elastic volume change. (1973) *Applied Scientific Research (The Hague)*, 27 (4), pp. 265-273.
13. Pekárek, V. Thermo-mechanical anomaly developed in metals under elastic stress (2005) *Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved)*, 50 (2), pp. 177-194.
14. Yi, H.K., Kim, D.W., Van Tyne, C.J., Moon, Y.H. Analytical prediction of springback based on residual differential strain during sheet metal bending (2008) *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222 (2), pp. 117-129.

Anatska V.V. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

FEATURE SOFAPPLICATION OF SHS-PROCESSES FOR IMPLANTATION OF SURFACE OF MACHINE PARTS.

The article considers the combined method of hardening, due to the fact that less time to achieve the specified characteristics of the part consumes less energy, or to implement the method requires less expensive equipment. A method for improving performance is proposed.

To bring mechanical engineering to the proper level, it is necessary to improve the quality of manufactured products. To do this, it is necessary to follow the latest scientific developments in world science. One of the modern methods of improving the performance of machine parts, cutting tools, foundry equipment is the use of SHS coatings. This method allows you to replace energy-intensive chemical-thermal treatment (cementation, nitriding, boring, etc.) with less energy-intensive and no less effective surface hardening of machine parts. This method allows to increase performance characteristics such as strength, wear resistance, corrosion resistance.

SHS-processes to this day remain not fully studied phenomenon. SHS is a high-intensity exothermic interaction of chemical elements in the condensed phase, capable of spontaneous propagation in the form of a combustion wave

The main property of SHS reactions is the release of large amounts of energy during the reaction. Due to this, there is a greater reduction in energy costs for the implementation of the processes of modification of performance.

Often the methods of obtaining special, functional coatings and properties of the working surfaces of machine parts are combined.

The advantages of combined methods of obtaining special, functional coatings and properties of the working surfaces of machine parts are:

- due to the combination of several processes or physico-chemical actions, there is an increase in processing efficiency, reduction of resource costs, reduction of inter-shop and inter-operational movements. Reduction of the main time due to the simultaneous flow of several technological processes;

- formation of unique materials in the process of SHS reactions (carbides, nitride, etc.);

- in most cases it is a waste of processing in reactors and furnaces, respectively, the possibility of processing any type and size of parts.

The application of protective coatings on the working surface of the material

by the method of SHS is carried out both in the combustion mode and in the mode of thermal self-ignition.

The paper describes a method of increasing the wear resistance of steels by a combined method of hardening. The essence of the method is as follows: at the beginning of the experiment it is necessary to run in to activate the surface layers, ie create dislocations. The next stage is spraying on the surface of the parts of the powder mixture based on copper. The last stage - processing in the corona discharge. Corona discharge has two properties: thermodiffusion and electrodiffusion. Since the main factor is temperature, thermodiffusion occurs. Due to thermal diffusion, intergranular diffusion occurs.

On the basis of experiments and research, we get results. We measure the hardness and roughness after the operations and compare these parameters with the initial ones.

CONCLUSIONS

The article presents a combined method of strengthening the surfaces of parts. When using this method, an increase in hardness and roughness is expected.

Антюшко Д.П., Лазоренко В.В. (Україна, Київ, ДТЕУ).

ЗНАЧЕННЯ ТА ТРЕНДИ РЕАЛІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ОСВІТИ В СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО НАВЧАННЯ.

Проаналізовано значення, сутність і основних форми реалізації бізнес-освіти в системі безперервного навчання упродовж життя. На основі проведеного дослідження зазначених методологічних аспектів встановлено основні тренди реалізації бізнес-освіти на сучасному етапі розвитку суспільства, міжнародного та вітчизняного ринку праці.

The role, essence and basic forms of business education's realization in the system of lifelong learning were analyzed. Based on the study of these methodological aspects, the main trends in the implementation of business education at the present development stage of society, international and domestic labor market were identified.

Організацією об'єднаних націй з питань освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) визначено ХХІ ст. як століття освіти, основним завданням упродовж якого є «навчитися ефективно навчатися» [1]. Так, освіта та навчання стають основою не лише для вирішення глобальних проблем людства, а й для розвитку мислення кожного члена соціуму, що забезпечить сталий розвиток, орієнтацію на майбутнє, трансформацію до змін світу та компетентнісної орієнтації кожного.

Сучасні тенденції та перспективи розвитку ринку праці, всеохоплюючі тренди глобалізації, інформатизації та бізнес-відносин свідчать про необхідність підготовки, перепідготовки та безперервного навчання представників ділового середовища, знання, навички та вміння яких будуть відповідати усім необхідним запитам і потребам, що спостерігаються на світовому й вітчизняному рівні. У результаті цього, у нинішніх умовах спостерігається досить виражена концептуальна зміна акцентів в аспекті підготовки працівників, здатних повною мірою відповідати компетентнісним очікуванням міжнародних і національних компаній, організацій щодо залученого персоналу. У даних умовах досить важливою стає здатність до набуття безперервної освіти упродовж усього життя, особливо в контексті бізнес-освіти, основною метою якої є забезпечення підготовки міжнародної та національних бізнес-еліт.

Важливо відмітити, що в сучасних умовах нестабільності глобального середовища існуюча система безперервної освіти загалом, як і її складова бізнес-освіта зокрема, мають забезпечувати сталий зв'язок із реальним сектором у сфері ділової діяльності, у тому числі за рахунок участі у реальних проектах [2–4].

Результати проведеного аналізу існуючих економічних досліджень свідчать, що одним із базових ресурсів забезпечення розвитку потенціалу персоналу обґрунтовано є професійно організована бізнес-освіта. Особливо

важливого значення її реалізація для України, що у наш час характеризується нестачею кваліфікованих управлінських працівників у багатьох сферах економіки, ведення різних форм господарської діяльності.

Важливого значення в дослідженні ролі бізнес-освіти у сучасних умовах, аналізі основних підходів і принципів її реалізації в контексті безперервного підвищення компетентнісного рівня мають наукові праці та дослідження закордонних і вітчизняних вчених Kumar P. [2], Lincoln J., Riza C. [5], Krishnamurthy S. [6], Шклярук К. [4], Комарова О.А. [7], Вагонова О.Г. [8]. Проте, незважаючи на доволі значну кількість наукових робіт даному напрямку, питання дослідження ролі у сучасному суспільстві, сутності, методологічних засад реалізації, основних тенденцій реалізації та розвитку бізнес-освіти в контексті імплементації безперервної освіти залишаються актуальними.

Метою дослідження є аналіз значення, сутності та основних форм і тенденцій реалізації бізнес-освіти в системі безперервного навчання упродовж життя.

Одним із визначальних напрямків сучасної системи забезпечення безперервної освіти, зокрема закладами вищої школи, є широке поширення практики реалізації послуг бізнес-освіти. Як свідчить практичний досвід, дана форма освітньої діяльності, не зважаючи на платну форму навчання в більшості випадків, крім передбачуваних компетентностей у вигляді загальних і спеціалізованих знань і навиків додатково дають змогу набувати в процесі занять нові корисні ділові зв'язки та знайомства. Як свідчать сучасні дані [9, 10], прагнення до розуміння сутності та специфіки ведення бізнесу у сучасних умовах поширюється не лише на управлінців і фінансистів, а й представників технічних спеціальностей, зокрема програмістів, промисловців, інженерів, конструкторів, технологів і представників добувної галузі, та сфери послуг, зокрема торгівлі.

Особливо важливого значення процес реалізації бізнес-освіти належного рівня якості, що буде відповідати кращим світовим і європейським практикам, набуває в контексті приєднання вітчизняних ЗВО та інших освітніх організацій до вимог норм Болонського процесу, забезпечення трудової мобільності населення на глобальному рівні, загально інтеграційного прагнення України щодо проведення реформ у напрямку імплементації передового міжнародного досвіду створення ґрунтовної бази для повноцінного розкриття здібностей і навиків осіб при виконанні ними попередньо визначених функцій на ринку праці, зокрема в певній сфері бізнес-діяльності.

Згідно з даними про сучасні тенденції розвитку даного ринку [2, 9, 10] бізнес-освіта по праву вважається найбільш динамічним сегментом освітньої діяльності, що обумовлено глобалізацією економічних відносин між організаціями усього світу, потребі в кваліфікованих управлінських кадрах і високим рівнем розширення частки послуг у загальній структурі. Нинішнім

часом ці освітні послуги надаються закладами вищої освіти, бізнес-школами, організаціями, що займаються проведенням тренінгів і семінарів у даній сфері, тощо. Основною перевагою, що свідчить на користь ЗВО при наданні послуг бізнес-освіти є наявність у них високо підготовленого та освіченого кадрового складу, науково-дослідницької бази, наукових ресурсів, окремим бізнес-школами – залучення відомих бізнес-тренерів і баланс співвідношення ціна/якість.

Важливо відмітити, що як свідчить практичний досвід [3, 9–12], у наш час при наданні профільними закладами послуг бізнес-освіти в якості медіаторів вже набутого досвіду активно долучаються успішні представники практичної сфери, зокрема промисловості, логістики, збуту, фінансового, маркетингового ринку, ІТ, політики, спорту, шоу-бізнесу. Основними напрямками роботи, до яких здійснюється залучення цих стейкхолдерів, є спільна розробка навчальних і тематичних планів, вимог до очікуваних знань, вмінь і компетентностей майбутніх спеціалістів, підготовка яких проводиться, змістовного наповнення, методів і форм викладання курсів і занять, налагодження механізму продуктивного відпрацювання набутих знань і навиків у провідних організаціях і установах, що здійснюють діяльність в практичній сфері. Це, у свою чергу, дає змогу забезпечувати випуск фахівців, які будуть приступати до виконання робочих обов'язків з мінімальним терміном, необхідним для стажування та трудової адаптації. До проведення практичних зустрічей при наданні бізнес-освіти дані представники залучаються в переважно в ролі бізнес тренерів, коучів, тьютерів, бізнес консультантів і едвайсерів тощо.

Варто також зауважити, що пропозиції в сегменті надання навчальних бізнес-послуг увесь час розширюються за рахунок появи нових установ і організацій, які усе більше розширюють географічну представленість у різних країнах, проводять різноманітні маркетингові та інші акції для більш повного залучення здобувачів освіти [9, 10].

На основі проведеного аналізу джерел [3, 9–12] встановлено, що основними трендами реалізації бізнес-освіти на сучасному етапі розвитку суспільства, міжнародного та вітчизняного ринку праці є:

- поширення застосування цифрових технологій,
- широке застосування інноваційних і експериментальних методів навчання,
- адаптація учбових курсів до індивідуальних потреб замовників,
- спеціалізація навчального матеріалу під специфіку певних сфер економіки,
- системно концентрованої й тезисної подачі інформації про механізми реалізації управлінської політики з акцентом на практичну сферу застосування,

- загального скорочення тривалості терміну навчання на бізнес-програмах через прагнення максимально швидко застосовувати одержані знання при розв'язанні наявних проблем і завдань, що ставляться перед структурами ведення бізнесу,
- застосування елементів дистанційного навчання для надання змоги апробації розробок в умовах реальної їх імплементації

Таким чином, на основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що концепція бізнес-освіти є актуальною для реалізації міжнародними та вітчизняними освітніми організаціями, у тому числі закладами вищої освіти, а особливо у загальному тренді забезпечення європейської політики навчання упродовж усього життя та трудової мобільності населення. Розвиток даного сегменту навчально-освітньої діяльності дозволяє суттєво забезпечити якість фахової підготовки спеціалістів на ринку, у першу чергу, у сферах управління та адміністрування, перепрофілювання та повноцінне розкриття здібностей фахівців інших галузей економіки.

Перспективним напрямом подальших досліджень є аналіз і дослідження основних методологічних аспектів реалізації бізнес-освіти в системі забезпечення безперервного навчання трудових кадрів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. UNESCO. *International Bureau of Education. Twenty first century skills*. URL: <http://www.ibe.unesco.org/en/glossary-curriculum-terminology/t/twenty-first-century-skills>
2. Kumar P., Kumar A., Palvia Sh., Verma S. *Online business education research: Systematic analysis and a conceptual model. The International Journal of Management Education*. 2019. V. 17. Is. 1. P. 26-35.
3. Антюшко Д.П., Володавчик В.С., Сєногонова Л.І., Сич Т.В. *Інтерактивні методи навчання у вищій школі: монографія*. Харків. Вид-во Іванченка І.С. 2022. 189 с.
4. Шклярчук К. *Бізнес-освіта в умовах глобальної нестабільності*. Вісник КНТЕУ. 2016. №4. С. 178-186.
5. Lincoln J., Riza C. *Authentic assessment in business education: its effects on student satisfaction and promoting behaviour, Studies in Higher Education*. 2018. V. 43. Is. 3. P. 401-415
6. Krishnamurthy S. *The future of business education: A commentary in the shadow of the Covid-19 pandemic. Journal of Business Research*. 2020. V. 117. P. 1-5.
7. Комарова О.А. *Випереджаюча освіта: цілі та пріоритети розвитку*. Бізнес Інформ. 2015. №4. С. 22-28.
8. Вагонова О.Г., Горпинич О. В. *Бізнес-освіта як чинник імплементації економіки знань. Economics Bulletin*. 2017. №3. С. 142-154.
9. *How Can Business Schools Develop Leaders?* URL : <http://aom.org/DevelopLeaders/>
10. *Skill-Building Through Business Education* URL : https://ssir.org/articles/entry/skill_building_through_business_education

Артемов В.Ю., Онищук С.Г. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В МАШИНОБУДУВАННІ

В роботі показано, що використання зубовимірювальних машин дозволяє суттєво зменшити загальну кількість вимірювальних приладів й дозволяє вимірювати циліндричні, конічні, черв'ячні зубчаті колеса та черв'яки з високою точністю.

The paper shows that the use of gear measuring machines can significantly reduce the total number of measuring instruments and allows you to measure cylindrical, conical, worm gears and worms with high accuracy.

Забезпечення тривалого життєвого циклу виробів машинобудування, зокрема редукторів, залежить від якості їх виготовлення. Виготовлення зубчастих коліс в машинобудуванні вимагає використання різноманітного металорізального обладнання, технологічного оснащення, різального інструмента та засобів вимірювання.

В процесі контролю зубчастих коліс виконують контроль норм кінематичної точності, норм плавності, норм контакту, боковий зазор [1].

Взагалі стандарт визначає 24 похибки, що необхідно контролювати. 7 похибок визначають кінематичну точність, 7 похибок визначають плавність роботи, 4 похибки визначають точність контакту зубців, боковий зазор визначається 6 параметрами.

Для вимірювання кожного параметру в машинобудуванні використовують традиційні прилади контролю зубчастих вінців: прилад для комплексного однопрофільного контролю; прилад для абсолютного вимірювання накопиченої похибки кроку; прилади для відносного вимірювання накопиченої похибки кроку; кінематомір; зубомірний мікрометр для контролю загальної довжини нормалі; нормалемір для визначення відхилень від номінального значення довжини загальної нормалі; бієніємір; прилад для двохпрофільного контролю (міжцентромір); хвилемір (для контролю циклічної похибки); евольвентомір; крокомір накладний; ходомір (для контролю лінії зуба); зубомір зміщення; штангензубомір.

Наявність всіх вищезгаданих приладів приводить до того, що метрологічна лабораторія підприємства повинна мати підготовлених метрологів, забезпечувати контрольними заходами механоскладальні цехи, що виконують виготовлення зубчастих коліс.

Існуючі традиційні прилади для вимірювання потребують попереднього налаштування кваліфікованими спеціалістами в метрологічній лабораторії. Час на вимірювання може бути набагато менше часу на налагодження приладу.

Для забезпечення високої точності вимірювань останнім часом на машинобудівних підприємствах почали використовувати сучасні засоби вимірювання параметрів зубчастих коліс. Тому використання зубовимірювальних машин дозволяє вирішити проблеми, що виникають при традиційних методах вимірювання.

Будь-яка зубовимірювальна машина є засобом аналітичного контролю відхилень зубчастого вінця. Використання зубовимірювальних машин забезпечує оптимальну якість контролю та представлення результатів перевірки параметрів зубчастого вінця.

Наприклад, зубовимірювальна машина фірми Mahr (Німеччина) в процесі контролю використовує вимірювальний щуп, який сканує бокову поверхню зуба по профілю (рис. 1, а), по лінії зуба (рис. 1, б), послідовно торкається всіх бокових сторін зубів (рис. 1, в). Результатом цих вимірювань є визначення похибки профілю, похибка лінії зуба, відхилення кроків, похибка радіального биття.

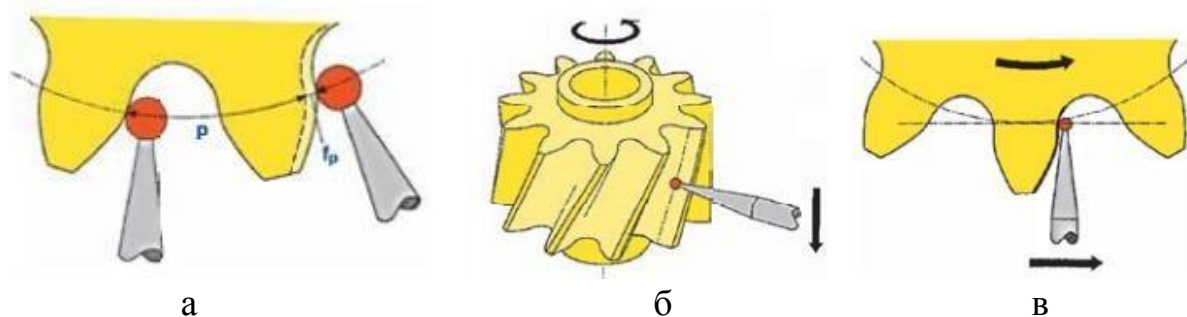


Рисунок 1 – Вимірювання профілю, лінії зуба та кроку на зубовимірювальній машині [1]

Наприклад, при вимірюванні профілю зуба можна отримати криву лінію (рис.2, а), аналіз якої дозволяє оцінити похибку профілю (рис. 2, б).

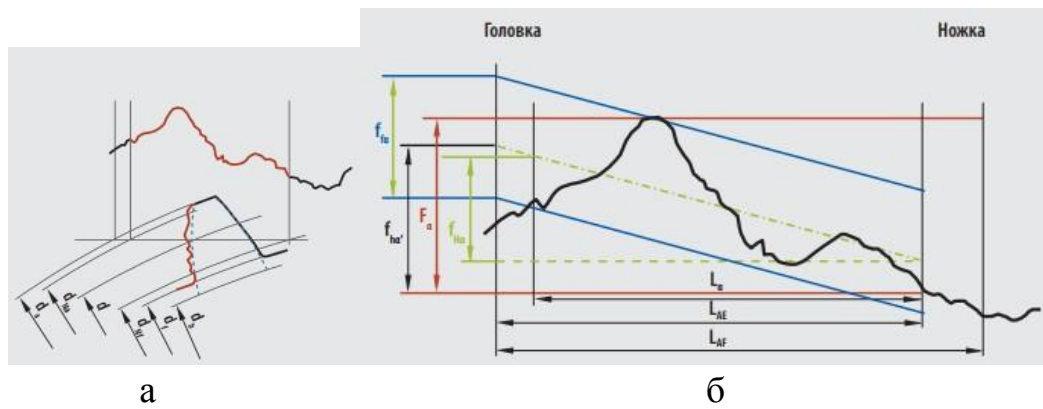


Рисунок 2 – Вимірювання профілю (а), оцінка похибки профілю (б) [1]

ВИСНОВОК

Використання зубовимірювальних машин дозволяє суттєво зменшити загальну кількість вимірювальних приладів й дозволяє вимірювати циліндричні, конічні, черв'ячні зубчаті колеса та черв'яки з високою точністю.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Артемов В.Ю., Олійник С.Ю. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ В ТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ

У статті розглянуто, що собою уявляють магнітореологічні еластomers, із чого вони складаються та які проявляють ефекти, їх сутність. Магнітореологічні еластomers (МРЕ) представляють собою клас «розумних» твердих магнітоактивних матеріалів, властивості яких можна регулювати за допомогою зовнішнього магнітного поля. Розглянуто сучасні розробки для застосування у машинобудуванні.

The article considers what are magnetorheological elastomers, what they consist of and what effects they have, their essence. Magnetorheological elastomers (MREs) are a class of "smart" solid magnetically active materials whose properties can be regulated by an external magnetic field. Modern developments for application in mechanical engineering are considered.

Подальше підвищення якісних показників верстатних пристосувань в машинобудуванні пов'язано зі збільшенням їх точності, функціональності, гнучкості та можливості впровадження в кіберфізичні системи. Властивості розумних матеріалів, які пов'язані зі змінними фізико-механічними характеристиками, можуть допомогти в розробці технологічної оснастки нового покоління.

Протягом останніх десятиліть сформувався новітнє науково-технічне спрямування, що поєднує наукові досягнення колоїдної фізичної хімії, фізики магнетизму та електромеханіки. В результаті наукових та практичних досліджень створено нове покоління магнітокерованих матеріалів, фізичні та функціональні властивості яких цілеспрямовано регулюються при впливі на них магнітних полів.

Метою роботи є огляд сучасних досліджень в галузі розробки магнітних еластомерів та їх застосування в технічних об'єктах.

Магнітореологічні еластomers (МРЕ) представляють собою клас «розумних» твердих магнітоактивних матеріалів, жорсткість яких можна регулювати за допомогою зовнішнього магнітного поля. Складаються з біосумісної або стійкої до агресивного зовнішнього середовища полімерної матриці із впровадженням мікро- або нанорозмірних феромагнітних частинок заліза, оксиду заліза та інших. Еластomers здатні проявляти пам'ять форми та магнітореологічні ефекти.

Магнітореологічний ефект [1] обумовлений структуризацією частинок при розміщенні еластомеру в полі. Він відбувається під впливом двох факторів: еластичності матриці та магнітних взаємодій.

Ще однією властивістю МРЕ є магнітодеформаційний ефект [2], сутність якого і полягає у зміні форми та розмірів еластомеру при впливі магнітного поля. В еластомері, розміщеному в магнітному полі, магнітні моменти частинок орієнтуються у напрямі поля. В результаті диполь-дипольної взаємодії між односпрямованими магнітними моментами частинок, останні прагнуть вишикуватися в ланцюжки вздовж напрямку зовнішнього поля. У пружній матриці не відбувається утворення злитих ланцюжків частинок, однак навіть невеликого зміщення частинок у матриці достатньо для зміни форми та розміру зразка. Зміна форми зразка пов'язана із зміною розташування магнітних частинок усередині полімерної матриці. У своїй роботі [3] автори провели дослідження магнітодеформації магнітних еластомерів.

Разом із магнітодеформаційним ефектом спостерігається ефект пам'яті форми [4]. В відсутності зовнішнього магнітного поля деформації магнітного еластомеру оборотні, тобто еластомер відновлює свою форму після вимкнення зовнішнього механічного навантаження. Однак у зовнішньому магнітному полі механічне навантаження призводить до незворотній деформації еластомеру.

Ще одним механічним ефектом, що спостерігається в магнітних еластомерах, є ефект Пейна [5]. Це залежність модуля зсуву магнітного еластомеру, що знаходиться в магнітному полі, від амплітуди деформації. Після досягнення деякого насичення значення амплітуди деформації, модуль пружності різко зменшується. У той же час модуль втрачає досягає максимального значення в той момент, коли модуль пружності починає різко зменшуватися. Було виявлено, що ефект Пейна значно збільшується у зовнішньому магнітному полі, а також змінюється у разі циклічного навантаження і досягає насичення після кількох циклів.

Так, стосовно практичного використання МРЕ та їх ефектів, у роботі «Використання інтелектуальних матеріалів у вузлах системи підресорювання перспективних військових гусеничних і колісних машин» [6] авторами обґрунтовано застосування МРЕ у вузлах підвіски перспективних і серійних ВГКМ, з метою спрощення керування їх характеристиками та забезпечення їм нових можливостей. На прикладі пружних шарнірів підвіски бронетранспортера БТР–4 представлено застосування шарнірів із МРЕ для реалізації керування жорсткістю підвіски.

Тими ж авторами, у роботі «Застосування магнітореологічних еластомерів для керування характеристиками системи підресорювання колісних транспортних засобів» [7], поставлена мета дослідження впливу керування пружними та демпфуючими характеристиками системи підресорювання на основі використання магнітореологічних еластомерів на плавність ходу колісних транспортних засобів. За результатами роботи було розроблено, досліджено та запатентовано конструкції пружних шарнірів важелів підвіски з магнітореологічними еластомерами. Визначено відносні межі зміни модулів пружності та втрат даних шарнірів при здійсненні керування характеристиками підвіски для забезпечення підвищення плавності ходу колісного транспортного засобу.

У роботі Волошина В.Н. «Мехатронна система затиску токарного верстата з ЧПК з магнітореологічним середовищем» [8] розглянуто затискні механізми верстатів з ЧПК із використовується магнітореологічних матеріали зі схожими до еластомерів властивостями. Автором проведено моделювання геометричних та силових характеристик пристрою перемикання режимів роботи виходячи із характеристик магнітореологічної рідини, величини магнітного поля, площі робочого зазору між стаканами.

Як підсумок, була запропонована мехатронна система затиску із пристроєм перемикання режимів роботи з магнітореологічним середовищем, яка має ряд суттєвих переваг, серед яких: енергоефективність; компактність; легкість керування роботою затискних елементів; здатність підтримувати необхідну силу затиску без підведення енергії після затиску; можливість контролю і регулювання сили затиску; можливість аварійного блокування обертання шпинделя.

ВИСНОВКИ

В даний час вивчення магнітореологічних еластомерів переважно сфокусовано на дослідженні оптимального складу матеріалу для конкретного практичного застосування. Існують розробки амортизаторів, деякі з яких вже знайшли застосування у автомобільній промисловості. Віддалене управління властивостями еластомерів за допомогою магнітного поля дозволяє впроваджувати їх у область біомедицини. Актюатори на основі магнітореологічних еластомерів могли б знайти застосування у різних галузях від робототехніки до мікрофлюїдики. Застосування еластомерів не вимагає великих енергетичних витрат, але дозволяє швидко і оборотно керувати елементом пристрою, що зумовлює широку перспективність їх використання. Крім того, магнітореологічні еластомери становлять величезний інтерес і для фундаментальних досліджень. Вони є

композитними матеріалами, що складаються з безлічі взаємодіючих елементів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Chen L. *Microstructures and viscoelastic properties of anisotropic magnetorheological elastomers* / Chen L., Gong X.L., Li W.H. // *Smart Mater. Struct.* – 2007. – Vol. 16, № 6. – P. 2645–2650.
2. Chertovich A.V. *New composite elastomer with giant magnetic response* / Chertovich A.V., Stepanov G.V., Kramarenko E.Y., Khokhlov A.R. // *Macromolecular Materials and Engineering.* – 2010. – Vol. 295, Is. 4. – P. 336–341.
3. Ginder J.M. *Magnetostrictive phenomena in magnetorheological elastomers* / Ginder J.M. et al. // *Int. J. Mod. Phys. B.* – 2002. – Vol. 16, № 17–18. – P. 2412–2418.
4. Stepanov G.V. *Motion of ferroparticles inside the polymeric matrix in magnetoactive elastomers* / Stepanov G.V. et.al. // *J. Phys. Condens. Matter.* – 2008. – Vol. 20, № 20. – P. 204121.
5. Sorokin V.V. *Experimental study of the magnetic field enhanced Payne effect in magnetorheological elastomers* / Sorokin V.V., Khokhlov A.R. et.al. // *Soft Matter.* – 2014. – Vol. 10. – P. 8765–8776.
6. Дущенко, В.В. Використання інтелектуальних матеріалів у вузлах систем підресорювання перспективних військових гусеничних і колісних машин / В.В. Дущенко, В.Г. Маслієв // *Військово-технічний збірник.* – № 14, 2016. – С. 7–13.
7. Дущенко, В.В. Застосування магнітореологічних еластомерів для керування характеристиками систем підресорювання колісних транспортних засобів / В.В. Дущенко, В.Г. Маслієв, Р.А. Нанівський, А.О. Маслієв // *Електротехніка і Електромеханіка.* – № 5, 2019. – С. 50–59.
8. Волошин В.Н. *Мехатронна система затиску токарного верстата з чпк з магнітореологічним середовищем* / В.Н. Волошин // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : X міжнародної науково-практичної конф., 29–30 квітня 2020 р. : тези доп.* – Чернігів : ЧНТУ. – 2020. – С. 115–116.

Bobrov D.S. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

CONTROL OF THE METHOD OF APPLICATION OF ANTIFRICTION COATINGS.

The article presents an overview of the combined processing method, a schematic diagram of the experimental setup and a description of the processes studied during the experiment.

Ordinary materials are not always able to meet the requirements for parts of machines operating in extreme operating conditions. High-quality structural materials, if they can meet such requirements, may turn out to be too expensive [1, 2].

Difficulties that arise are removed by applying coatings with a thickness from fractions of a millimeter to several millimeters on the surface, which can provide the required performance characteristics of the parts [1].

However, there are a number of problems associated with the application and operation of anti-friction coatings. One of the significant reasons for the failure of the surface layer is poor adhesion of the surface layer, porosity, etc. During operation, with an increase in temperature, all indicators of mechanical strength decrease near the surface layer [2].

Consider the disadvantages of several basic coating methods.

Surfacing is the application of coatings in layers of several mm thick from a molten filler material to a melted metal surface of a product.

Disadvantages of surfacing technology:

- the possibility of changing the properties of the deposited coating due to the transition of the base metal into it.
- change in the mechanical composition of the base and deposited material due to the oxidation of alloying elements [3].

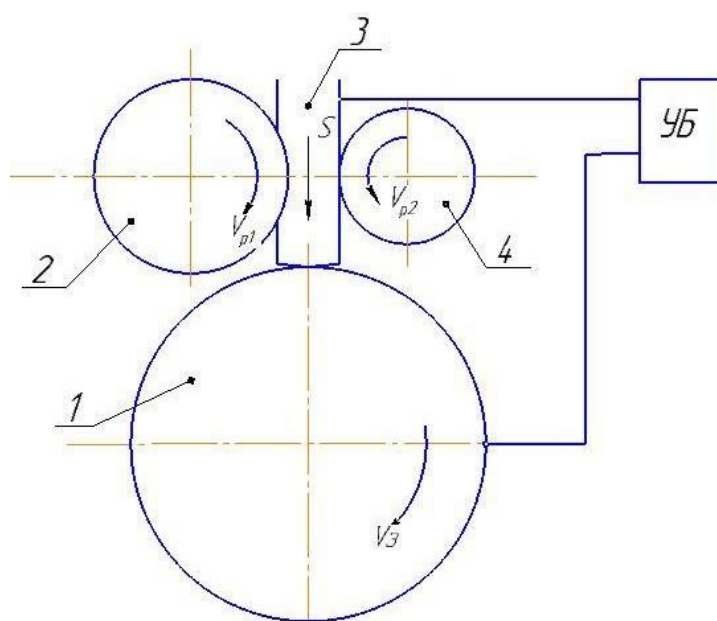
Spraying is a process consisting in heating the sprayed material with a high-temperature source. Flaws:

- instability of sprayed coatings to impact mechanical loads;
- anisotropy of properties of sprayed coatings [3].

Thus, it can be seen that the application of anti-friction coatings on the surface of parts has a number of disadvantages associated primarily with the features of the coating method. To solve these problems, a combined coating method is considered. Aimed at the fact that between the coating and the substrate material there would be an adhesion-diffusion interaction.

When considering the combined method of applying antifriction coatings, the adhesion between molecules inside the lead rod and diffusion in the contact zone of the lead rod and the substrate material are analyzed. In this case, these physical phenomena counteract each other.

For the experiment, a scheme was developed, shown in Fig.1



1 - workpiece; 2 - guide roller; 3 - rod; 4 - drive roller; UB - control unit

Fig. 1 Scheme of the experimental setup

Lead will be used as a coating material, in the form of a rod, and the substrate material will be structural steel.

The steel roller is given a rotational motion at a constant speed, from above, a lead rod is fed onto it. The wire feed force is constant. Lead rubs against the surface of the roller and a small part of the material of the rod is transferred to the workpiece. With this mode of operation, a diffusion interaction will occur between the bar and the roller, which pulls out microscopic pieces of lead from the bar, transferring them to the workpiece. Diffusion is counteracted by adhesion between the lead molecules in the bar, and when these forces are balanced, the process will stop. Lead molecules will stop escaping onto the workpiece material. This balance can be disturbed by electrical impulses supplied by the control unit. To study the effect of current parameters on the diffusion-adhesion interaction, the control unit regulates the pulse frequency and duty cycle (pulse action time) of the current.

By changing the above current parameters, it will be possible to reduce the adhesion of lead and increase diffusion in the zone of contact between the workpiece and the rod, which will make it possible to apply relatively thick layers of antifriction material to the workpiece.

The advantages of this method are that it will be possible to apply a significant layer of anti-friction material without resorting to temperature, chemical or any changes in the applied material.

REFERENCES

1. *Tekhnologiya naneseniya i svoystva naneseniya pokrytij* YU.E. Spekr, R.G. Er-masov. Krasnoyarsk 2008.
2. *Problemy i perspektivy naneseniya antifrikcionnyh pokrytij na vklady-shi podshipnikov skol'zheniya*. Marcinovskij V.S., Plekin A.V..
3. *Progressivnye tekhnologii naneseniya pokrytij*. Topolenskij P.A., Sankt-Peterburg.
4. *Bokshtejn B.S., Atomy bluzhdayushchie po kristalu.*—M.: Nauka, 1984–208s..

Буйкус Я.О., Недвіга А. А. (Україна, Краматорськ, ДДМА)

СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Проведено порівняльний аналіз альтернативних варіантів підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей механізмів і машин. Розглянуто переваги електроконтактних методів відновлення деталей машин. Досліджено матеріали для нанесення зносостійких покриттів та показано функціональні переваги композиційних матеріалів стосовно підвищення експлуатаційної стійкості відновлених вузлів ґрунтообробного обладнання.

The comparative analysis of alternative variants of increase of wear resistance of working surfaces of details of mechanisms and cars is carried out. The advantages of electrocontact methods of restoration of machine parts are considered. Materials for wear-resistant coatings have been studied and the functional advantages of composite materials in relation to increasing the operational stability of restored units of tillage equipment have been shown.

В даний час при обробці ґрунту для обробки сільськогосподарських культур застосовують безліч ґрунтообробних машин, а саме культиватори, розпушувачі, сівалки та посівні комплекси, тощо [1]. Умови експлуатації ріжучих деталей не можна назвати простими – вони знаходяться у безпосередньому контакті з абразивними частинками, що викликають інтенсивне зношування, затуплення ріжучих кромek, зміну форми і як наслідок профілю та робочих розмірів. Експлуатація зношених робочих органів веде до падіння якості виконуваних робіт, зриву агротехнічних термінів виконання операцій, зростання простоїв техніки, прямих та непрямих витрат, зниження кількості отриманої товарної продукції [2, 3].

Метою роботи є дослідження існуючих методів підвищення експлуатаційної стійкості деталей та вузлів ґрунтообробних машин з точки зору ефективності обраної технології з урахуванням умов експлуатації обладнання.

Підвищення зносостійкості досягається різними способами, спрямованими або на зниження швидкості зношування, або на зниження шкідливих наслідків процесу зношування деталей. До першої групи відноситься метод самозагострення різальних лез, що забезпечує вибіркове зношування робочої кромки інструменту, при якому зберігається його оптимальна форма або ріжуча властивість. У деяких випадках виникає необхідність забезпечення регламентованого характеру зношування, котрий дозволить сформувати необхідний рельєф на робочій поверхні або кромці, зберігши при цьому заданий профіль при зношуванні інструменту до кінця терміну його експлуатації. Цього можливо досягти приварюванням опорних таких елементів як смуг, дротів [4]. Підвищити зносостійкість, забезпечити умови для самозаточування і збереження необхідного профілю також є можливим при виготовленні лез робочих органів ґрунтообробних машин з

наплавленим робочим шаром змінної твердості. Різновидом такого наплавлюваного матеріалу є багатошаровий композит з різними функціями шарів. Отримання багатошарового сталевго композиту із заданими властивостями – досить складне технологічне завдання. Відомі методи, такі як наплавлення, хіміко-термічна обробка, не дають можливості отримати багатошаровий сталевий композит з робочим шаром 0,1–0,3мм при загальній ширині 1–5мм. Традиційне розкочування в тонкі листи інструментальних сталей з подальшим з'єднанням шарів зварюванням, пайкою та пакетною прокаткою для отримання багатошарового сталевго композиту – досить трудомістка технологія. Аналіз літературних даних та виробничий досвід дозволяє дати коротку характеристику існуючим методам відновлення та зміцнення деталей машин досліджуваного класу (табл.1) [4].

Табл. 1 – Сучасні методи відновлення ґрунтообробного інструменту

Способи відновлення	Недоліки
1. Переточування ріжучих поверхонь	Різке зменшення робочої поверхні інструмента, що призводить до збільшення енерговитрати, погіршення якості отриманої продукції.
2. Підвищення твердості матеріалу ріжучого інструмента термообробкою (чим вища твердість, тим довше інструмент зберігає свої експлуатаційні властивості)	Призводить до зниження пластичності та ударної в'язкості, що незадовільно позначається на роботі інструменту в умовах дії ударних та згинальних навантажень
3. Гальванічне нанесення шарів металу (нікелювання, хромування)	Пухкий нанесений шар з низькими механічними властивостями як за міцністю, так і за зносостійкістю; низька міцність зчеплення із поверхнею інструменту; шкідливість виробничого процесу; труднощі утилізації відходів
4. Металізація	Низька міцність зчеплення з поверхнею виробу; отриманий шар має високу крихкість і не витримує ударних навантажень; високі внутрішні напруги шару

5. Газотермічне наплавлення	Труднощі регулювання теплового процесу, внаслідок чого з'являється залежність міцності та зносостійкості наплавленого шару від кваліфікації робітника; термічний вплив на структуру металу, часті випадки відпуску та перепалу основного металу
6. Дифузійне зварювання	Тривалий час зварювання (близько 5хв.), протягом якого можливе зростання зерна металу під дією температури; складність обладнання та висока вартість процесу
7. Електродугове наплавлення	Розчинення зміцнюючої фази в основному металі; термічна вплив на деталь; підвищене газопиловиділення та розбризкування; не завжди забезпечується перехід частин зносостійкої фази в наплавлений шар
8. Заміна відпрацьованих деталей новими, що поставляються як запасні частини	Великі витрати на запасні частини, вартість котрих являє половину загальних витрат на ремонт, що погіршує рентабельність обладнання

Композиційне покриття, що складається з пластичної металевої матриці та тугоплавких керамічних частинок – наповнювачів, найчастіше отримують різними способами наплавлення (електрошлакової, газової, дугової, індукційної та ін.). Однак рідкофазні процеси, їх наявність має такі недоліки, як значний термічний вплив на метал основи, погіршення вихідних властивостей і структури порошкових матеріалів, обмеженість вибору складових покриття. Більшість з цих недоліків відсутня при електроконтактному наплавленні, як одному з методів твердо- та рідко-твердофазної технології нанесення покриттів, що відрізняється мінімальною зоною термічного впливу на деталь, відсутністю необхідності використання захисної атмосфери та відсутністю випромінювання і газовиділення. Процес електроконтактного наплавлення характеризується короткочасним високошвидкісним нагріванням (до 800–1000°/с) матеріалу, що наплавляється, та основного металу до температур 1400–1600°С та силовим впливом роликів-електродів. Нагрівання відбувається за рахунок пропускання струму, що генерується джерелом струму в імпульсному режимі, через пакет-матеріал, що

приварюється, і основний метал, що поміщається між електродами зварювальної електроконтактної машини [4, 5]. Електроконтактне наплавлення належить до процесів з яскраво вираженим силовим і температурним активуванням. Величина силового впливу при цьому на 2-3 порядки вища, ніж у випадку централізованого індукційного, вібраційного та інших технологічних варіантів отримання покриттів. При цьому швидкість нагрівання шару, що наплавляється може сягати декілька тисяч градусів в секунду. Поєднання двох активуючих факторів дозволяє здійснювати процес наплавлення в середньому в 100 разів швидше, ніж при індукційному способі нанесення покриття. При цьому фізико-механічна властивість отриманого на поверхні шару виробу, що відновлюється, (зносоустійкість, твердість, пористість і т.і.) залежать від технологічних параметрів процесу, які необхідно вибирати з урахуванням впливу активуючих факторів, таких, як силове та температурне активування. Силове активування забезпечується впливом електроду на матеріал, що наплавляється, в зоні наплавлення. Існує мінімальна величина тиску, що визначається низкою умов. По-перше, тиск обмежується значенням, при якому шар, що наплавляється, приймає допустимий електроопір, що забезпечує необхідну електропровідність (тобто проходження струму через шар не викликає перегріву окремих ділянок з їх розплавленням та вибухового викиду частини металу у вигляді крапель); по-друге, тиск визначається величиною, при котрій він має активуючий вплив на процес наплавлення.

Таким чином, температурне активування визначається рівнем та характером зміни температури в зоні наплавлення. Рівень температури, її розподіл по шару і деталі, швидкості нагрівання і охолодження, багато в чому обумовлюють характер протікання дифузійних процесів наплавлення, визначають рівень залишкових напружень у покритті та деталі, надають вплив на формування експлуатаційних властивостей покриття, що наноситься. Тому виявлення функціонального взаємозв'язку факторів температурного активування з режимними параметрами електроконтактного наплавлення (сила струму, швидкість переміщення ролика і т.і.) дозволить керувати фізико-хімічними процесами, що протікають при наплавленні, і визначати тим самим фізико-хімічні властивості покриття.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ходякова, К.С. (2017). *Ефективна промислова політика – запорука високотехнологічного рівня держави. Державне будівництво, №1, С. 1-11.*
2. Bhushan, B. (2002). *Introduction to tribology. New York: John Wiley & Sons, 732p.*
3. Bulychev, V.V., Zezyulya, V.V. (2011). *Electrical resistance deposition with a wire and deceleration of the roller electrode. Welding International, Vol. 25, № 5, PP. 374-377.*

Бублик А.Г., Кошева Л.В. (Україна, Краматорськ, ДДМА).

ОСОБЛИВОСТІ ПРОТИДІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ РОБОТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА НА ФІЗИЧНИЙ СТАН ЛЮДИНИ.

У роботі показано, що роботизацією досягається ефективність у багатьох галузях одночасно і може виникнути синергетична ефективність, коли роботи з однієї галузі практично реформують галузь. Але при цьому страждає зайнятість людей. Деякі аспекти майбутньої сфери зайнятості актуалізують напрямок справ щодо підвищення фізичної активності людей та їх занять спортом.

The paper shows that robotization achieves efficiency in many industries at the same time and synergistic efficiency may appear when works from one industry practically reform the industry. But at the same time, employment suffers. Some aspects of the future sphere of employment actualize the direction of affairs to increase the physical activity of people and their sports.

Об'єктивними факторами прогресу суспільного виробництва є – впровадження нових прогресивних технологій, атоматизація та роботизація, зниження долі ручної праці в ньому - висувають і будуть висувати нові, значно вищі вимоги до адаптаційних здібностей людини, до його фізичного здоров'я. Тому соціальна установка суспільства на підвищення рівня фізичної активності людей як засобу зміцнення здоров'я, досягнення масової фізичної досконалості і росту на цій основі виробництва праці та особистого благополуччя означає крок вперед в реалізації гуманістичної ідеї [1].

Нова середовище життєдіяльності людини визначає основні вимоги до нових робіт – їх можливість і здатність вбудовуватися в існуючу технологічну лінію та /або створювати власну нову технологічну середовище (лінію) для вбудовування ліній наступних робіт, критеріїв ефективності роботи для кожної отрасли. Також ведуться дослідження з раціоналізації та багатофункціональності роботи двойного призначення. У підсумку роботизації досягається ефективність у багатьох галузях одночасно і може з'явитися «синергетична ефективність», коли роботи з однієї галузі практично реформують галузь.

Термін «Промисловість 4.0» був використаний на Ганноверській виставці в 2011 году у зв'язку з комплексними кіберфізичними системами, в яких ІТ-системи на всіх стадіях виробничої цепочки об'єднані в одну для взаємодії з іншим в режимі реального часу і самонастроювання. Розвиток цієї промисловості трансформує всю архітектуру світової економіки та національного господарства.

Такі «розумні» виробництва отримують цілим набором відмінних визнань:

-мати віртуальну копію, яка дозволить проводити симуляцію технологічних процесів та відстежувати ефективність роботи на будь-якому виробничому етапі;

-самостійно приймати рішення.

Всі проривні дослідження, націлені на «прижок» на наступний технологічний рівень, розширюють кордони пізнання світу, вирішують глобальні проблеми, відкривають нові можливості, але разом з темою, вони відсутні певні виклики та угрози урядам, бізнесу, безпеки, здоров'ю, особистої життя та свободи свідомості та волі людини, включаючи:

– нові цілі і завдання війни між машинами (роботами) і людьми за право людей жити вільною духовною життям и розмножатися;

– тотальную роботизацію процесів життя людини, яка з урахуванням трансформаційних потреб потребує нового менеджменту взаємодії між людьми і самими технологіями;

– бурний рост человеческого познавательного потенциала и потенциала саморазвития роботов (проект суперкомпьютера «Mr. Computer»);

– створення суперінтелектуальної системи – глобального мозку, яке виникає після відкриття нових видів енергії.

Ети и другие вызовы новой гибридной среды, т.е. среды слияния искусственных и біологічних систем еще мало вивчені, але вже визначилися їх деякі особливості. наприклад:

-отримання прибутків в гібридній середі не зв'язується з традиційними формами бізнесу;

-товари та послуги роботів автоматично вбудовуються в існуючу технологічну лінію та/або створюють нову технологічну середу (лінію) для вбудовування ліній наступних робіт;

-роботи створюють нові критерії ефективності та стандарти для кожної галузі.

Наряду з цим, викликають і вимоги до конкурентоспроможності країн-лідерів у новому кіберсереді, визначають рівень державно-технологічної безпеки в епоху «шестого техноуклада», включаючи війну, соціальну, політичну та економічну стабільність, здатність захищати країну в нових гібридних і безконтактних кібервойнах.

Людина винужденно пізнає можливості свого подальшого існування, виживання і прогресу в цієї нової кибер-среде. Риночний запит на роботи змінює динаміку та структуру світової економіки. Пользування роботами веде до швидкого наростання критичного обсягів знань населення світу для швидкого розвитку в новому технологічному укладі, а для неадаптованих до нового середовища громадян буде обмежений доступ до розподілу громадських благ.

Сьогодні відзначається покращення в ряді сфери діяльності «спортивних клубів і салонів краси» традиційно знаходиться в «зеленій

зоні», позитивний настрій можна відзначити у сфері продажу, медицини/фармацевтики та маркетингу, реклами, PR. Наіменше впевнено на ринку відчують себе спеціалісти, заняті в сфері – «Страхування», «Висший менеджмент» та «Управління персоналом, тренінги». Менше других бояться увольнений начинающие специалисты и представители сферы «Наука, образование». Майже половина соискателей готові знизити свої зарплатні очікування для того, щоб знайти роботу. Найбільшу готовність до зниження своїх зарплатних очікуваних заявляють починають спеціалісти та робочий персонал. А вот менше всего на такую меру согласны пойти медицинским працівникам.

У всіх інших переконаннях в тому, що зможете знайти роботу в умовах роботизації - представники індустрії спорту та краси. Тому, розвиток цього напрямку в професійної орієнтації молоді є пріоритетним.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1.<https://www.kspu.edu/FileDownload.ashx/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97%D0%A4%D0%9A%D0%A0%D0%93%D0%9D.PDF?id=928ba3d5-5038-4b8e-89df-e7877e014a11>

Goncharova N.S. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

PROTOTYPING OF PRODUCTS WITH THE USE OF ELECTRO SPARK DOPING.

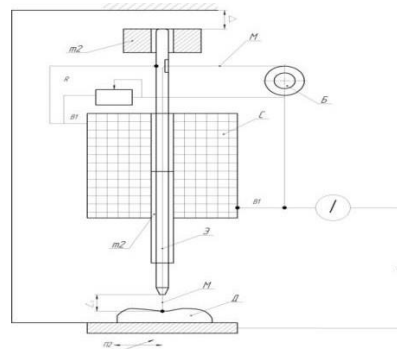
The article considers and describes the created molding unit, which builds a layered part of a rod material that is continuously fed into the molding zone in the form of molten microspheres, by heating with a strong electric current.

In industrial production, especially in high-tech knowledge-intensive industries such as mechanical engineering, radio electronics, automotive, along with traditional technologies, ultra-modern methods of forming parts are increasingly used.

Thus, one of the most effective methods of obtaining high-quality products from metals and alloys is the cultivation of blanks and parts. In foreign practice, this technology is called Direct Metal Fabrication. The principle of forming products with this technology is layer-by-layer cultivation of the product by welding or sintering the powder material. As a result, you can get parts of complex shape, which are simply impossible to make by conventional casting methods.

We have developed a completely new installation that will allow you to grow parts of different configurations. The essence of its work is as follows: the material in the form of molten microspheres, which are continuously fed into the zone of formation, using a concentrator of strong electric currents and applied to the treated surface by a stream of compressed air. The high-frequency power supply is a standard high-frequency electric current generator.

The part is grown with the help of a material that is fed in the form of a wire into the growing zone and under the action of an electric current is transformed into microspheres of the melt material. The formation of the part is due to the reciprocating movement of the working body and its movement in the coordinates P1 and P2 with a limit on the distance Δ , which allows in conjunction with the regulation of current to ensure the adaptability of the process (Fig. 1).



B - grandmother; B1 and B2 - solenoid outputs; C - solenoid; D - part that is grown; E - electrode; M - wire

Fig. 1 Installation diagram

With this technology, the part is created by adding new layers to existing ones, and this is radically different from traditional methods of processing workpieces by cutting, when from the workpiece, "cutting off the excess", get

ready-made detail. New methods help reduce material costs and increase productivity, which is very important when creating prototypes and finished parts.

The invention is aimed at solving the problem of growing parts by the method of forming. Such a wide interest in this topic can be explained by the high technical and economic characteristics of the method, which allows you to reproduce a layer of almost any thickness, different chemical composition, as well as physical and mechanical characteristics.

CONCLUSIONS

The article considers and describes the created installation of forming, which builds a layered part of the rod material. The application of the proposed method allows you to save material during manufacture, as well as to produce parts of complex configuration.

REFERENCES

1. Grabchenko A.I., Vnukov YU.N., Dobroskok V.L., Pupan' L.I., Fadeev V.A. *Integrirovannye generativnye tekhnologii: Nauch.posobie: – Har'kov: NTU «HPI», 2011. – 416 s.*
2. Kovalevs'kij S. V., Onishchuk S. G., Tulupov V. I., Starodubcev I. N. *Novi kombinovani metodi obroblennya robochih poverhon' detalej mashinobuduvannya: Monogra-fiya: – Kramators'k: DDMA, 2013. – 196 s.*
3. Kovalevskij S. V. *Eksperimental'nye issledovaniya elektroimpul'snogo uprochneniya detalej mashin / S. V. Kovalevskij, V. I. Tulupov, YA. S. Azarova // Nejro-setevye tekhnologii i ih primenenie: Materialy mezhd. nauchno-tekhn. konf. «NSTiP – 2008» v g. Kramatorske 10 dekabrya 2008 g. – Kramatorsk. – 2008. – S. 45–49.*
4. Hejfec, M. L. *Proektirovanie processov kombinirovanoj obrabotki / M. L. Hejfec. – M. : Mashinostroenie, 2005. – 272 s. : il. (Biblioteka tekhnologa). – ISBN 5-217-03171-9*
5. <http://mastermodel.ru/articles/selective-laser-sintering>

Грищенко Д.І., Бейгул О.О., Бейгул В.О. (Україна, м. Кам'янське, ДДТУ)

СТІЙКІСТЬ ЗБУРЕНОГО РУХУ ЗЧЛЕНОВАНОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА З БУГЕЛЬНОЮ РАМОЮ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ

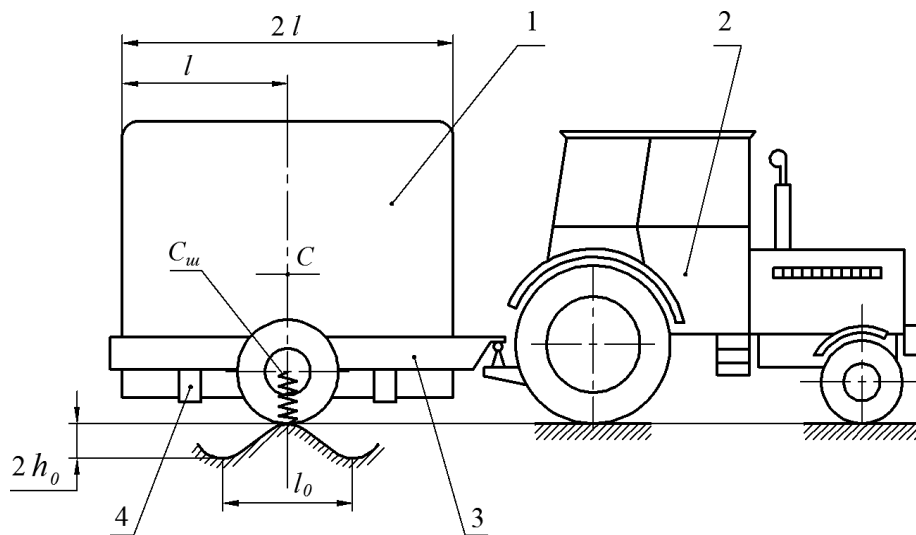
Розроблена математична модель збуреного руху зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою при наявності асиметричних кінематичних збурень, викликаних нерівностями технологічних доріг. Отримана і обґрунтована умова поперечної стійкості контейнеровоза у збуреному русі методами аналітичної механіки, що дає можливість обирати режими руху контейнеровозів в умовах технологічних доріг.

The mathematical model of articulated container truck with band loop frame disturbance motion by asymmetrical kinematic disturbance of uneven technological roads has been worked out. The condition of cross stability for container truck under disturbance motion by methods of analytical mechanics has been receiver and based for selection conditions of container truck motion on the technological roads.

Постановка проблеми. Здійснення технічного переозброєння та подальшого підйому продуктивності праці в чорній металургії нерозривно пов'язані з удосконаленням структури і якості промислового транспорту. На підприємствах, які будуються та розширюються, з'являються технологічні лінії, де традиційний залізничний транспорт витісняється більш гнучким у своєму використанні технологічним спецавтотранспортом.

Аналіз останніх публікацій. На ділянках перевезення крупногабаритних штучних вантажів, у тому числі контейнерів, пакетів, піддонів, використовуються спецавтотранспортні засоби з вантажопідйомними пристроями [1 - 3], підйомно-транспортні машини з порталною несучою системою [4,5], спецавтотранспортні засоби з бугельною у плані рамою [6,7]. Останні зі зчленованою компоновкою уявляються найбільш універсальними та перспективними, маючи на увазі багатопланове використання тягачів (рис.1). Характерною особливістю контейнеровозів є наявність високо розташованого центра маси, що разом зі специфічним навантаженням додає проблеми стійкості збуреного руху у поперечній площині. Основним джерелом поперечних коливань системи є асиметричні кінематичні збурення з боку нерівностей дороги. Слід зазначити, що вузол зчіплювання розташовується на рівні осі підвіски напівпричепа, що конструктивно просто виконати, і у такому разі коливання напівпричепа та тягача у поперечній площині можна розглядати як незалежні. На цій підставі розглядаємо поперечні коливання напівпричепа зчленованого контейнеровоза без урахування тягача. Відомі роботи Веселова Г.П., Густомясова А.М., Колмакова В.І. [8], Лобаса Л.Г., Ващенко Ю.Л. [9] присвячені дослідженню динаміки системи «тягач-

причіп», але вони
не розглядають поперечні коливання окремих ланок.



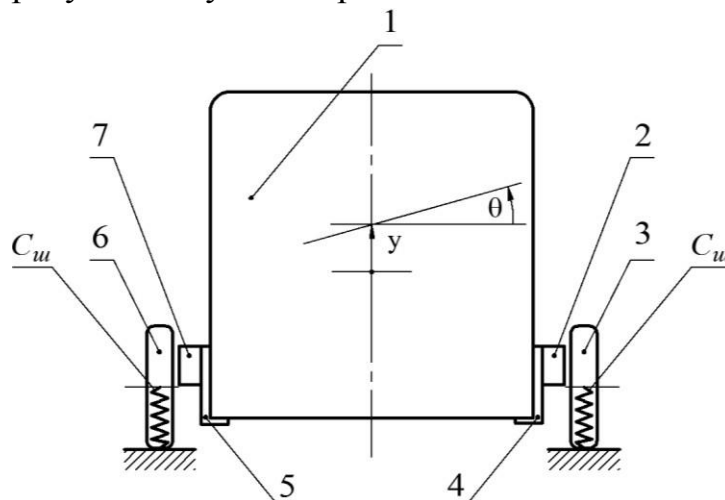
1 – контейнер; 2 – тягач; 3 – напівпричіп з бугельною рамою; 4 – ложемент

Рисунок 1 – Зчленований контейнеровоз з бугельною рамою

Формулювання раніше не вирішених частин. На рівні розглянутих робіт невирішеною частиною загальної проблеми є обґрунтування умови поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі.

Метою даної роботи, таким чином, є отримання та обґрунтування умови поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис.2 зображений контейнеровоз на вигляді ззаду. Будемо вважати, що кінематичні збурення діють лише на праву підвіску напівпричепи.



1 – контейнер; 2 – правий лонжерон рами; 3 – праве колесо підвіски напівпричепи; 4 – правий ложемент; 5 – лівий ложемент; 6 – ліве колесо підвіски напівпричепи; 7 – лівий лонжерон рами

Рисунок 2 – Зчленований контейнеровоз на вигляді ззаду

Рівняння збуреного руху отримуємо у формі рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = Q_j, \quad (1)$$

де T – кінетична енергія системи, Дж;

Π – потенціальна енергія системи, Дж;

q_j – j -а узагальнена координата, м (рад);

Q_j – j -а узагальнена сила неконсервативного походження, Н (Н/м).

У такому разі $q_1 = y$, $q_2 = \alpha$, де y – вертикальне переміщення напівпричепа, а α – кут повороту напівпричепа у поперечній площині.

Кінетична енергія системи:

$$T = \frac{m_c \dot{y}^2}{2} + \frac{I_c \dot{\alpha}^2}{2} + \frac{m_e v^2}{2}, \quad (2)$$

де m_c – сумарна маса напівпричепа, кг;

I_c – сумарний момент інерції напівпричепа відносно поздовжньої осі, яка проходить через центр маси системи, кг·м²;

v – швидкість руху системи, м/с.

Потенціальна енергія системи реалізується енергією стисненого повітря у шинах коліс, приймає наступний вигляд:

$$\Pi = \frac{C_{ш}}{2} y^2 + \frac{C_{ш}}{2} \left(\frac{l_k}{2} \alpha \right)^2 + \frac{C_{ш}}{2} \left(\frac{l_k}{2} \alpha + h_n \right)^2, \quad (3)$$

де $C_{ш}$ – радіальна жорсткість шини колеса напівпричепа, Н/м;

l_k – половина колії напівпричепа, м;

h_n – підйом правого колеса напівпричепа на нерівностях синусоїдального профілю, м.

У загальному вигляді можна записати

де h_n – висота нерівностей, м;

$$\frac{h_n}{h_0} = \sin \frac{2\pi x}{l_0}, \quad (4)$$

h_0 – амплітудне значення профілю нерівностей, м;

x – абсциса апроксимуючої функції нерівностей, м;

l_0 – довжина сінусоїди, яка апроксимує функцію нерівностей, м.

При русі системи

$$x = vt. \quad (5)$$

З урахуванням виразу (5) підйом правого колеса напівпричепа дорівнює

$$h_n = h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (6)$$

Нехтуючи силами неконсервативного походження, підставляємо вирази кінетичної та потенціальної енергій у рівняння Лагранжа другого роду (1).

Об'єднуючи отримані вирази, записуємо перше і друге диференціальні рівняння:

$$m_c \ddot{y} + 2C_{\text{ш}} y = C_{\text{ш}} h_n \quad (7)$$

$$I_c \ddot{\varphi} + 2C_{\text{ш}} l_k^2 \varphi = l h_n. \quad (8)$$

Перепишемо рівняння (7) і (8) з урахуванням виразу (6):

$$m_c \ddot{y} + 2C_{\text{ш}} y = C_{\text{ш}} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t; \quad (9)$$

$$I_c \ddot{\varphi} + 2C_{\text{ш}} l_k^2 \varphi = l h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (10)$$

Записуємо рівняння (9) та (10) з введенням нових позначень

$$\ddot{y} + p_y^2 y = \frac{C_{\text{ш}}}{m_c} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t, \quad (11)$$

де $p_y^2 = \frac{2C_{\text{ш}}}{m_c}$ – квадрат власної кругової частоти системи по узагальненій координаті y , с^{-2} ;

$$\ddot{\varphi} + p_{\varphi}^2 \varphi = \frac{C_{\text{ш}} l_k}{I_c} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t, \quad (12)$$

де $p_{\varphi}^2 = \frac{2C_{\text{ш}} l_k^2}{I_c}$ – квадрат власної кругової частоти системи по узагальненій координаті φ , с^{-2} .

Розв'язання рівнянь (11) та (12) мають наступний вигляд:

$$y_1 = C_1 \cos p_1 t + \frac{C_{ш} h_0}{m_c p_1^2 - 4v^2} \sin 2v t, \quad (13)$$

$$y_2 = C_2 \cos p_2 t + \frac{C_{ш} l_k h_0}{I_c p_2^2 - 4v^2} \sin 2v t. \quad (14)$$

Перші два доданки у виразах (13) та (14) описують вільні коливання системи, які визначаються початковими умовами і через деякий час практично зникають. Лишаються вимушені коливання, які описуються наступним чином:

$$y_1 = \frac{C_{ш} h_0}{m_c p_1^2 - 4v^2} \sin 2v t, \quad (15)$$

$$y_2 = \frac{C_{ш} l_k h_0}{I_c p_2^2 - 4v^2} \sin 2v t. \quad (16)$$

Безпосередньо з виразу (16) отримуємо умову втрати стійкості напівпричепа у поперечній площині при асиметричному кінематичному збуренні

$$p_2^2 - \frac{4v^2}{l_0^2} = 0 \quad (17)$$

або після розкриття власної кругової частоти p_2

$$\frac{2C_{ш} l_k^2}{I_c} - \frac{4v^2}{l_0^2} = 0. \quad (18)$$

Звідки отримуємо критичну швидкість $v_{кр}$, при якій настає втрата стійкості напівпричепа контейнеровоза у поперечній площині:

$$v_{кр} = l_k l_0 \sqrt{\frac{C_{ш}}{2I_c}}. \quad (19)$$

Висновки. Таким чином, отримано і обґрунтовано умову поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі шляхом математичного моделювання методами аналітичної механіки, що дає можливість обирати режими руху контейнеровозів в умовах технологічних доріг. Подана робота має широкі перспективи подальших досліджень

промислового транспорту з нетрадиційними компоновками на шляху створення довершених зразків.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Технологічні і конструктивні параметри несучих систем порталних підйомно-транспортних машин / О.О. Бейгул та ін. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. 167 с.*
2. *Дослідження та вибір типу несучої системи автосcrapовоза з U – подібною рамою / О.О. Бейгул та ін.: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., м. Дніпропетровськ, 28–31 жовт. 2013р.Д., 2013. С. 138–141.*

Дзержинський І.В., Кассов В.Д. (Україна, Краматорськ, ДДМА)

РОЗРОБКА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ СТІЙКОСТІ БАШТОВИХ КРАНІВ

DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK-BASED CONTROL SYSTEMS FOR THE STABILITY OF TOWER CRANES

В роботі розглянута методика управління приводами баштових кранів для збереження стійкості. Розглянуто етапи розвитку пристроїв для забезпечення безпеки баштових кранів та виявлено їх недоліки. Запропоновано систему, засновану на методах штучного інтелекту. Запропоновано шляхи подальшої розробки теми.

The paper considers the method of control of tower crane drives to maintain stability. The stages of development of devices for safety of tower cranes are considered and their shortcomings are revealed. A system based on artificial intelligence methods is proposed. Ways to further develop the topic are suggested.

Постановка проблеми

Баштовий кран є важливим обладнанням для великих будівельних проектів, і в основному використовується для перенесення будівельних матеріалів та об'єктів по горизонталі та вертикалі. Він широко використовується, оскільки його легко встановити і не має обмежень у просторі для нормальної роботи. Останні роки ми стали свідками зростання кількості проектів розвитку інфраструктури та баштових кранів. Баштові крани, будучи висотною підйомною спорудою, мають чутливість до експлуатаційних навантажень. Навантаження, що діють на баштові крани, є сукупністю постійних та ненормованих складових.

Безпека експлуатації баштового крана залежить від стійкості до ненормованих складових навантажень на металоконструкцію. Для збереження стійкості баштового крана необхідно розробити пристрій для стабілізації його положення при складових навантажень, що не нормуються.

У цій роботі розглядаються ненормовані вітрові навантаження.

Вітрове навантаження є переважною дією, що навантажує металоконструкцію баштових кранів, внаслідок переважання її над статичними навантаженнями і тому конструкції баштових кранів особливо чутливі до впливу вітру. Вітрове навантаження є випадковим процесом. Пориви, що виникають з випадковою повторюваністю з різної енергії, збільшують перекидальний момент і викликають додаткове навантаження металоконструкцій баштових кранів.

Слід зважити, що ризик падіння баштових кранів від вітрових навантажень існує не тільки для вітряної місцевості, але й для районів із зменшеними вітровими навантаженнями. Це зумовлено тим, що вітрове

навантаження є процесом з енергоємними поривами, що випадково виникають, які збільшують перекидальний момент.

Можливість виникнення небезпечних динамічних вітрових навантажень існує досить суттєво, що підтверджується багаторічними спостереженнями, до того ж є тенденція до зростання [1].

Аналіз останніх досліджень

В теперішній час ведуться дослідження керування системою баштового крана, яке включає адаптивне керування [2], формування команд [3-4], нейронну мережу [5], керування плануванням посилення [6] та прогнозне керування моделлю [7]. З іншого боку, алгоритми нечіткої логіки також широко застосовувалися для контролю вібрації в різних системах [8-12]. Управління алгоритмами нечіткої логіки має сильну адаптивність і не вимагає точної моделі керованого об'єкта завдяки своєму інтелектуальному методу [13]. Зазвичай існуючі методи керування для складної системи розроблені на основі лінеаризованої системної динаміки, і більшість з них вимагають точного знання моделі [2]. На відміну від цього, нечітко логічне керування має перевагу, яка замінює роль математичної моделі нечіткою моделлю, заснованою на правилах, побудованих у форматі якщо-тоді. Запропоновано різноманітні конструкції контролерів алгоритмів нечіткої логіки в системах баштових кранів [8-10,14-15].

Найбільш поширеними пристроями контролю стійкості від вітрових навантажень робочого стану є різновиди обмежувачів вантажопідйомності. Ці прилади працюють у індикаторному режимі, тобто, у разі виникнення аварійної ситуації відбувається знеструмлення вантажопідйомної машини, при підйомі вантажу вище від номінального - це є умовою збереження стійкості. Але за критичної швидкості вітру відбувається лише оповіщення машиніста (звукове, світлове) без впливу управління вантажопідйомної машини.

Система вітрового захисту заснована на реєстрації швидкості вітру та утриманні пересувного вантажопідіймального крана протиугінними захватами.

Недолік систем вітрового захисту – приведення в дію захисних заходів після реєстрації небезпечних параметрів вітрових навантажень, відсутність у обмежувачів вантажопідйомності функції контролю стійкості до перекидання. Рішення - впровадження в алгоритми управління вантажопідйомними машинами функції екстраполяції на основі нейро-нечіткої логіки.

Система забезпечення стійкості повинна виконувати функції забезпечення контролю параметрів баштового крана та вітрових навантажень і виробляти сигнали управління на механізми приводів.

Об'єктом дослідження є стаціонарні та пересувні баштові крани.

Метою даної роботи є забезпечення стійкості баштових кранів при ненормованих зовнішніх впливах з використанням методів штучного

інтелекту.

Виклад основного матеріалу

Для завдань прогнозування параметрів вітрового навантаження використовується нечітка логіка, штучні нейронні мережі, нейронечітка логіка.

Принцип заснований на коригуванні положення поворотної частини баштового крана щодо напрямку вітру та видачу попереджувальних сигналів на механізми для примусової зміни кутового положення поворотної частини.

Система безпеки заснована на нейромережевому та логічному алгоритмах. Нейромережевий алгоритм використовується для прогнозування значень напрямку та швидкості вітру, а логічний алгоритм – для визначення небезпечної швидкості вітру (на основі прогнозованих значень) у пориві та управління приводами з метою завчасного переведення баштового крана в безпечне положення.

Система безпеки баштових кранів складається з підсистеми збору інформації про параметри вітру та параметри баштового крана, підсистем нейромережевого прогнозування та управління приводами. Структурна схема представлена рис. 1.

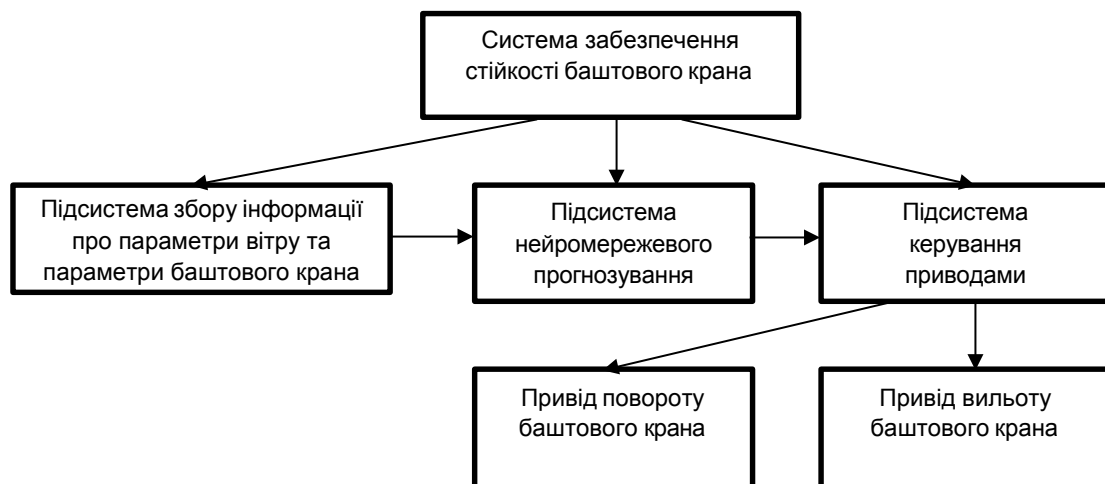


Рис. 1. Структурна схема системи безпеки баштового крана

Підсистема збору інформації про параметри вітру та параметри баштового крана складається з датчиків, багато з яких є в існуючому обмежувачі вантажопідйомності – датчик швидкості вітру, положення стріли, висоти підйому гака, вильоту гака. Додатково баштовий кран необхідно оснастити датчиком напрямку вітру.

Підсистема нейромережевого прогнозування та управління приводами баштового крана заснована на промисловому контролері.

Умовою безпеки є видача підсистемою нейромережевого прогнозування сигналу управління та його обробки підсистемою управління

для спрацьовування приводів до виникнення критичного моменту перекидання від поривів вітру.

Нейросетева модель для прогнозування є нелінійною авторегресійною залежністю виду:

$$x_{\text{пр}}(t) \square x(t - \Delta), \dots x(t - N\Delta),$$

де $x_{\text{пр}}(t)$ – прогнозоване значення; $x(t - \Delta), \dots x(t - N\Delta)$ – попередні значення, виміряні з кроком Δ (крок дискретизації значень, що реєструються).

Прогнозування реалізується на основі нейромережевої моделі з пам'яттю, якою виступає лінія затримки часу.

На рис. 2 а представлена структурна схема прогнозування швидкості вітру, на рис. 2 б – структурна схема прогнозування напрямку вітру.

Для прогнозування швидкості та напрямку вітру використовуємо нейромережу прямого поширення з лінією затримки, схеми яких представлені на рис. 3 та 4.

У промисловий контролер закладено алгоритм завчасного керування приводами повороту та/або зміни вильоту. Алгоритм призначений для видачі сигналу управління на основі нейромережевої моделі (програма нейромережевої моделі записана в пам'ять контролера) і значення значення датчиків швидкості і напрямки вітру. При прогнозуванні небезпечного пориву та його напрямку контролер формує сигнал управління, що надходить на привід повороту та/або привід зміни вильоту гака, для розвороту поворотної частини баштового крана у напрямку прогнозованого пориву вітру. Якщо розворот відбувається з вантажем, то небезпечних прискорень вантажу немає, оскільки розворот проводиться заздалегідь з номінальною кутової швидкістю.

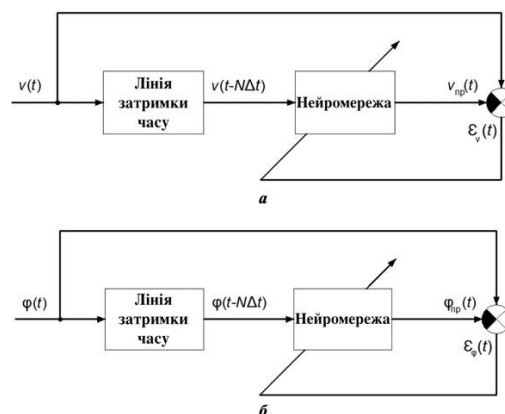


Рис. 2. Структурні схеми нейромережевої моделі прогнозування швидкості вітру (а) та напрямки вітру (б)

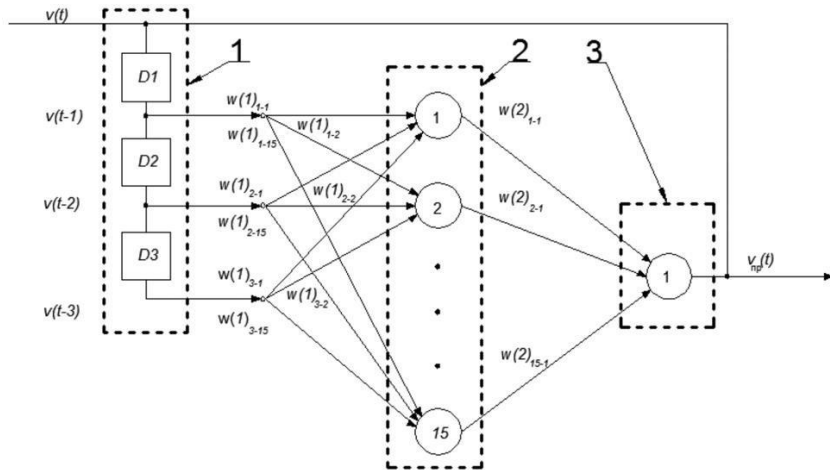


Рис. 3. Схема нейромережевої моделі прогнозування швидкості вітру: 1 – лінія затримки з відводами; 2 – проміжний шар; 3 – вихідний шар; $v(t)$ – поточне значення швидкості вітру; $v_{np}(t)$ – прогнозоване значення швидкості вітру; $v(t-1) \dots v(t-3)$ – попередні значення швидкості вітру; $w(1)_{1-1} \dots w(1)_{3-15}, w(2)_{1-1} \dots w(2)_{15-1}$ – вагові коефіцієнти; D1...D3 – елементи лінії затримки

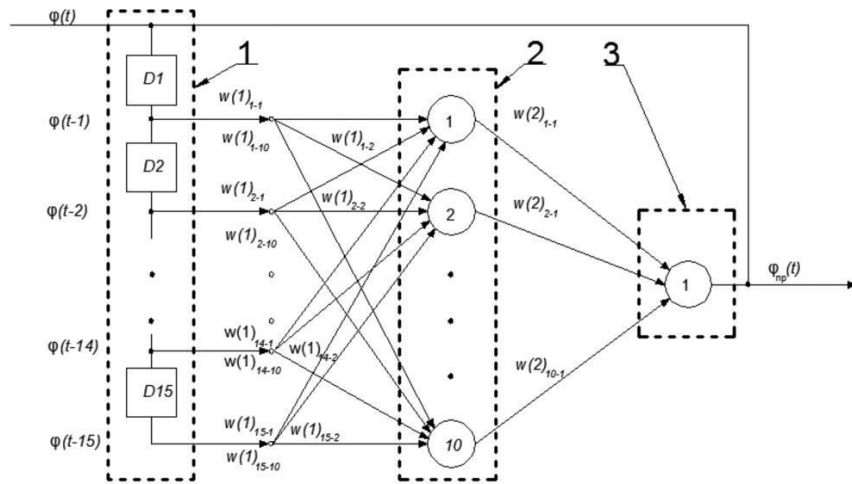


Рис. 4. Схема нейромережевої моделі прогнозування напрямку вітру: 1 – лінія затримки з відводами; 2 – проміжний шар; 3 – вихідний шар; $\varphi(t)$ – поточне значення напрямку вітру; $\varphi_{np}(t)$ – прогнозоване значення напрямку вітру; $\varphi(t-1) \dots \varphi(t-15)$ – попередні значення напрямку вітру; $w(1)_{1-1} \dots w(1)_{15-10}, w(2)_{1-1} \dots w(2)_{10-1}$ – вагові коефіцієнти; D1...D15 – елементи лінії затримки

Система безпеки автоматично втручається в роботу машиніста лише при прогнозуванні небезпечної швидкості вітру, що перевищує допустиме значення.

Система розроблена для забезпечення стабільності баштового крана в робочому стані. У неробочому стані баштовий кран стійкіший до вітрових навантажень за рахунок меншої парусності. У неробочому стані триває збирання інформації про параметри вітру, це підвищує точність прогнозу небезпечних поривів у стані баштового крана. Можливе коригування положення баштового крана в неробочому стані за умови підключення його до мережі живлення після закінчення зміни.

Для запобігання відмови системи безпеки застосовуються такі дії:

- Навчання нейромережових алгоритмів;
- планово-попереджувальні перевірки нейромережових алгоритмів.

Для виконання першого пункту необхідно створити базу даних параметрів вітру місцевості, де буде експлуатуватися баштовий кран. База даних повинна мати значення параметрів вітру за тривалий період спостереження з різними кроками реєстрації. Далі проводиться навчання нейромережових алгоритмів в лабораторних умовах на початок експлуатації баштового крана. Потім контролер із навченими алгоритмами підключається до шафи управління баштового крана.

При проведенні перевірок нейромережових алгоритмів під час експлуатації баштового крана, можливе його донавчання. Це пов'язано з тим, що у процесі роботи баштового крана база даних параметрів вітру постійно поповнюється.

Безперервний контроль з екстраполяцією параметрів для майбутнього стану дозволить реалізувати запобіжний захист, який забезпечує раннє виявлення небезпечних поривів вітру.

Висновки

Представлена система забезпечення стійкості, що виконує функції забезпечення контролю параметрів баштового крана та вітрових навантажень при ненормованих зовнішніх впливах з використанням методів штучного інтелекту.

Подальша робота зводиться до порівняння результатів роботи систем управління, побудованих на методах: нечіткої логіки, штучних нейронних мереж і нейронечіткої логіки.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Pryor, S. C. and Barthelmie, R. J.: *A global assessment of extremewind speeds for wind energy applications*, *Nature Energy*, 6,268–276, <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00773-7>, 2021.

2. N. Sun, Y. Fang, H. Chen, B. Lu and Y. Fu, Slew/translation positioning and swing suppression for 4-DOF tower cranes with parametric uncertainties: design and hardware experimentation, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63, 6407–6418, 2016.
3. J. Lawrence and W. Singhose, Command shaping slewing motions for tower cranes, *Journal of Vibration and Acoustics*, 132, 011002, 2010.
4. D. Blackburn, J. Lawrence, J. Danielson, W. Singhose, T. Kamoi and A. Taura, Radial-motion assisted command shapers for nonlinear tower crane rotational slewing, *Control Engineering Practice*, 18, 523–531, 2010.
5. S. C. Duong, E. Uezato, H. Kinjo and T. Yamamoto, A hybrid evolutionary algorithm for recurrent neural network control of a three-dimensional tower crane, *Automation in Construction*, 23, 55–63, 2012.
6. H. M. Omar and A. H. Nayfeh, Gain scheduling feedback control for tower cranes, *Journal of Vibration and Control*, 9, 399–418, 2003.
7. M. Böck and A. Kugi, Real-time nonlinear model predictive path-following control of a laboratory tower crane, *IEEE Transactions of Control Systems Technology*, 22, 1461–1473, 2014.
8. A. A. Al-mousa, A. H. Nayfeh and P. Kachroo, Control of rotary cranes using fuzzy logic, *Shock and Vibration*, 10, 81–95, 2003.
9. T. S. Wu, M. Karkoub, W. S. Yu, C. T. Chen, M. G. Her and K. W. Wu, Anti-sway tracking control of tower cranes with delayed uncertainty using a robust adaptive fuzzy control, *Fuzzy Sets and Systems*, 290, 118–137, 2016.
10. N. Sadati and A. Hooshmand, Design of a gain-scheduling anti-swing controller for tower cranes using fuzzy clustering techniques, *International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation*, Sydney, Australia, 2006, pp. 172–177.
11. M. Watany, M. A. Eltantawie and S. A. Abouel-seoud, Application of an adaptive neuro fuzzy inference system for low speed planetary gearbox vibration control, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 34, 323–341, 2015.
12. *Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 32, 217–225, 2013.
13. C. Liu, H. Zhao and Y. Cui, Research on application of fuzzy adaptive PID controller in bridge crane control system, *IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*, Beijing, China, 2014, pp. 1–4.
14. A. A. Al-mousa, Control of rotary cranes using fuzzy logic and time-delayed position feedback control, *Master Thesis*, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2000.
15. H. M. Omar and A. H. Nayfeh, Anti-swing control of gantry and tower cranes using fuzzy and time delayed feedback with friction compensation, *Shock and Vibration*, 12, 73–89, 2005.

Дук В.Г., Коротченко В.Е., Ковалевська О.С., Ковалевський С.В.
(Україна, Краматорськ, ДДМА).

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ. ВИРОБНИЦТВ ДЛЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНИХ СИСТЕМ.

В роботі показано, що розвиток виробничо-економічних і соціально-економічних систем повинна розглядатися в нерозривному взаємозв'язку і відповідно до законів розвитку великих систем. Здобуття максимального ефекту дії таких систем супроводжується мінімізацією ресурсів, що витрачаються на досягнення все нових цілей. Це завдання вирішується шляхом оптимального управління постійно переналагоджуваними реконфігурованими системами технологічних машин.

The paper shows that the development of production-economic and socio-economic systems should be considered in an inseparable relationship and in accordance with the laws of development of large systems. Achieving the maximum effect of such systems is accompanied by minimizing the resources spent on achieving new goals. This problem is solved by optimal management of constantly reconfigured reconfigured systems of technological machines.

Забезпечення розвитку виробничо-економічних систем різного призначення в сучасних умовах потребує урахування наступних особливостей: потік замовлень на продукцію виробничо-економічних систем є багатономенклатурним малосерійним і індивідуальним необмеженого призначення; обладнання майбутніх виробничо-економічних систем повинно мати необмежену операційну гнучкість, но при цьому мати цільове функціональне призначення; завдання функціональної діагностики повинні бути спрямовані на швидкодію і отримання постійно оновлюваної інформації про добре та слабо формалізовані фактори, що діють в системах; інформаційне забезпечення повинне базуватися на отриманні і обробці великих масивів даних в реальному часі [1,2].

Перспектива застосування мобільних інтелектуальних роботів дозволяє подивитися на умови організації виробничого процесу цеху з погляду на мобільність не тільки з боку гнучкості за технологічними можливостями обладнання. Також, з'являється можливість пересування технологічного обладнання (мобільних інтелектуальних технологічних машин), за потребою, на виробничі ділянки для виконання технологічних операцій, або на складальну ділянку для перекомпонування за потребою. Ділянки, що будуються з традиційною схемою встановлення обладнання, повинні виконувати свої функції з задовільним завантаженням, орієнтуюся на ту продукцію яка має стабільний характер умовах ринкової економіки. Зміна номенклатури виробів викликають зміни вимог до компонування дільниць цеху. Таким чином стає очевидним, що традиційні схеми організації

виробництва з устаткуванням, яке встановлено на фундаментах неприйнятно. Але, обладнання різного призначення може бути побудовано на базі рухливих механізмів паралельної структури, забезпечуючи не тільки велику апаратну гнучкість, но і функціональну адаптивність на базі багатоканального і багатоконтурного управління за допомогою систем автоматичного управління [3].

Управління виконавчими рухами технологічних машина з механізмами паралельної структури являє собою складну задачу, рішення якої може бути отримано на основі рішення задач кінематики та динаміки виконавчих механізмів. В результаті можуть бути створені умови для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії. При цьому виникає потреба забезпечення автоматичної діагностики внутрішнього і зовнішнього соціально-економічного оточення виробничих систем. Для цих цілей системи управління повинні бути оснащені інформативними системами ідентифікації об'єктів [4].

Вже розроблено метод ідентифікації положення, кінематичних і динамічних параметрів механізмів з кінематикою паралельної структури, з яких складаються мобільні технологічні машини-роботи. Збудження конструкції експериментального технологічного машини-робота малопотужним акустичним сигналом з розподілом сигналів однакової амплітуди дозволяє встановлювати залежності $F(A,t) \equiv x(t), y(t), z(t)$, де $F(A,t)$ – збуджуючий сигнал, $x(t), y(t), z(t)$ – координати актуальною точки об'єкта. Ці дані можуть бути використані для управління позиціонуванням виконавчої ланки механізму з паралельної кінематикою. У зв'язку з цим, метою представленого дослідження є підтвердження можливості багатокomпонентного аналізу параметрів об'єктів (процесів і обладнання). Як інформативне джерело діагностичного сигналу, слід використовувати його амплітудно-частотну характеристику власних коливань об'єкта в хвильовому (акустичному, ультразвуковому, радіочастотному) діапазоні.

Все це формує уявлення про сітьовий характер побудови виробничих систем, де виробничі ділянки створюються за миттєвим замовленням: структура обладнання в вигляді мобільних інтелектуальних технологічних машин, які компонуються відповідно виробу, який повинен бути виготовлений. Наступне замовлення потребує реалізацію циклу розбирання та складання нових конфігурацій технологічних машин [5, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Сітьовий характер компоновки реконфігуруємого обладнання може передбачати вільне розміщення обладнання без прив'язки до місця. При цьому зростає необхідність

постійного вирішення завдань логістики. Це завдання вирішується шляхом оптимального управління постійно переналагоджуваними реконфігурованими системами технологічних машин.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Kovalevska O. S., Kovalevskyy S. V. Application of acoustic analysis in control systems of robotic machine tools. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. № 2 (2018), pp. 51-59,
2. Ковалевський С. В. Ідентифікація об'єктів машинобудування за кількома кількісними ознаками одночасно / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. – Луцьк, 2019. – Вип. № 68. – С. 23–29.
3. Ковалевський С. В. Моделі ідентифікації механізмів паралельної структури / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Технології в машинобудуванні / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – №19 (1344) 2019. – С. 34–39.
4. Ковалевський С. В. Концепція реконфігурованого виробництва на базі мобільних інтелектуальних технологічних машин / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська // *Міжнародний науково-технічний журнал «Штучний інтелект»*. «Фізико-математичні та технічні науки». – 2017. – С. 45–51.

Khmelova Y.O. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

FORMATION OF PROPERTIES OF WORKING SURFACES OF MACHINE PARTS ON THE BASIS OF APPLICATION OF TERMITIC MIXTURES.

In the statistical representations, the method of solving the problem of increasing the exploitation of the power of machine parts by way of winning term sums. The advantage of this method is energy savings for the account of a point application of thermal energy.

It is known that the problem of efficiency of machines and mechanisms can be solved by technological quality assurance of the surface layer. This is due to the fact that the connection of machine parts occurs on the working surfaces. For this reason, their destruction usually begins at the surface. The most important characteristics of machine parts depend on the condition of the surface layer - wear resistance, strength, corrosion resistance, tightness, so it is necessary to ensure its high performance as much as possible.

In order for Ukraine's mechanical engineering to take place on the world market and become a worthy competitor to such manufacturers as China, the EU and the United States, it is necessary to improve the quality of manufactured products. The use of conventional chemical-thermal treatment has long been an inefficient and costly method of hardening, which results in heat treatment not only the work surface but also the whole part, leading to uneven distribution of internal stresses and, consequently, cracks. Therefore, it is necessary to use a method that will increase productivity, improve the quality of manufactured products, as well as reduce its cost. One of the modern and effective methods of improving the performance of machine parts is the use of thermite exothermic reactions (TER), which are based on the use of thermite mixtures to initiate an exothermic reaction.

Thus, the aim of this work is to study the influence of thermite mixtures on the formation of the performance properties of the surfaces of machine parts, as well as to determine the most optimal temperature for TER [1-7].

The essence of this method is to use the effect of combustion of the thermal mixture as a source of heat released as a result of combining the processes of corona discharge and TER. Thus, the temperature released during the combustion of the thermite mixture is transported by the flow of electrons to the surface of the part. Smoothing was used as a finish, which improved the quality of the surface by reducing roughness and increasing hardness.

PG-19M-01 bronze powder was used as the thermite mixture, which is a compound of copper with other components in smaller quantities. Applying this

mixture as a coating will allow the surface layer to have high antifriction properties.

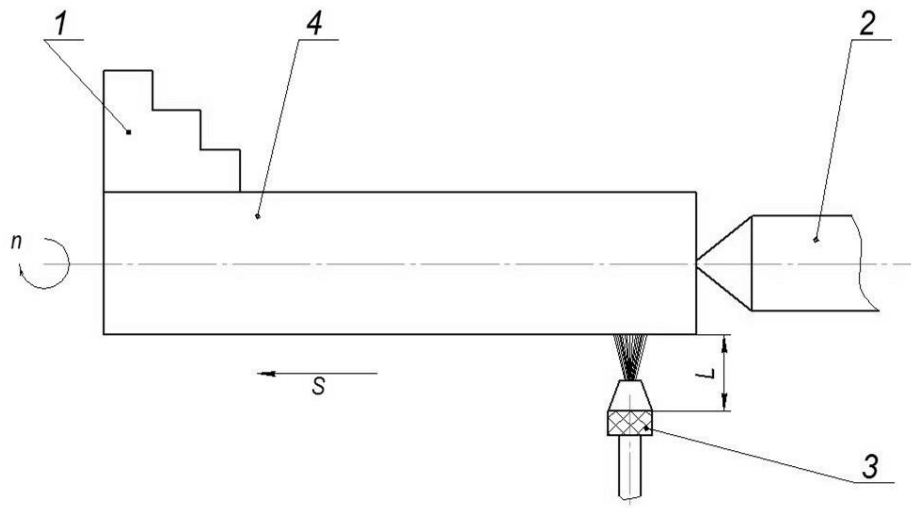


Fig. 1 Spraying scheme: 1 - cartridge 3 cam; 2 - the center of the rear headstock of the machine; 3 - combined sprayer; 4 - detail $d = 52.5$ mm; $L = 50$ mm - the distance from the nozzle to the part; $n = 315$ rpm - speed;

The experiment is as follows: the sample is subjected to pre-turning on a lathe with a carbide cutter. Then, with the help of a combined sprayer, the thermite mixture is applied to the roll with ten strips in a uniform layer, and the number of layers corresponds to the serial number of the belt. After measuring the thickness of the layers, the part is installed on the machine, the electrode is fed and the shaft is processed in the environment of the corona discharge.

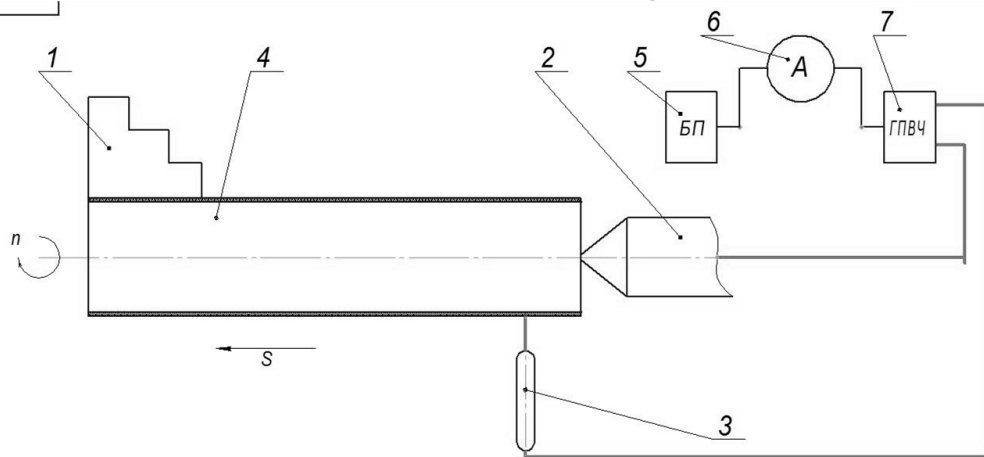


Fig. 2 Scheme of experimental installation: 1 - cartridge 3 cams; 2 - the center of the rear headstock of the machine; 3 - electrode; 4 - part $d = 52.5$ mm coated; 5 - power supply; 6 - ammeter; 7 - high frequency current generator; $n = 40$ rpm - speed;

After treatment with TER, the samples were smoothed. A carbide smoother is used as a tool.

Hardness and roughness measurements were also performed using devices such as the ETM-01 electronic hardness tester and the TR-200 profilometer profilometer, respectively.

CONCLUSIONS

The purpose of the work was to develop a method of strengthening the working surfaces of machine parts using TER.

To obtain the required hardness and wear resistance of the working surfaces of machine parts, the method of hardening due to the effect of combustion of thermite mixture as a heat source, resulting from a combination of corona discharge and TER, which is a scientific novelty.

The TER method allows to increase the surface hardness of the part, which allows to use it for the manufacture of critical parts with increased hardness and wear resistance of the surface layer with unstrengthened core.

REFERENCES

1. *Koncepciya razvitiya samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza kak oblasti nauchno-tekhnicheskogo progressa, CHernogolovka, Territoriya, 2003, 368 str., ISBN 5-900829-21-9, Otvetstvennyj redaktor A.G. Merzhanov.*
2. *Samorasprostranyayushchijsya vysokotemperaturnyj sintez: teoriya i prak-tika. CHernogolovka, Territoriya, 2001, 432 str., tabl. ill., ISBN 5-900829-18-9, Ot-vetstvennyj redaktor A.E. Sychev*
3. *Vol'pe B. M., Evstigneev V. V., Muhachev A. B., Garkol' D. A. Primenenie vysokoskorostnoj yarkostnoj pirometrii dlya issledovaniya fazovoj dinamiki SVS- processov / Problemy promyshlennyh SVS-tekhnologij. Trudy Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konferencii. – AltGTU - Barnaul: Izd-vo AltGTU, 1994. – S. 37-47.*
4. *A.G. Merzhanov. Samorasprostranyayushchijsya vysokotemperaturnyj sintez: Dvadcat' let poiskov i nahodok. – CHernogolovka: ISMAN, 1989. – 91 s.*
5. *A.G. Merzhanov. Processy gorenija i sintez materialov. – CHernogolovka: ISMAN, 1998. – 512 s.*
6. *E.A. Levashov, A.S. Rogachev, V.I. YUhid, I.P. Borovinskaya. Fiziko-himicheskie i tekhnologicheskie osnovy samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza. – M.: Binom, 1999. – 176 s.*
7. *A.G. Merzhanov Tverdoplamennoe gorenje. – CHernogolovka: ISMAN, 2000. – 224s.*

Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Комнатний І.О., Зуєв І.О. (Україна, м. Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

ВИБІР МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙМОВІРНИХ ОЗНАК ДІАГНОСТИЧНОГО СИГНАЛУ

Втрата працездатності машин, які мають достатню технічну досконалість, відбувається переважно через процеси зношення робочих поверхонь різної фізичної природи з різною інтенсивністю впливу конструкторських, технологічних та експлуатаційних факторів. Витрачання ресурсу обладнання у більшості галузей відбувається внаслідок наступних, характерних для умов застосування, деструктивних процесів деталей механізмів та їх поверхонь.

The loss of serviceability of machines that have sufficient technical perfection is mainly due to the wear of working surfaces of different physical nature with different intensity of design, technological and operational factors. The consumption of equipment in most industries is due to the following, typical of the conditions of application, destructive processes of parts of mechanisms and their surfaces.

Задача розпізнавання класів технічних станів, природно, повинна спиратися на добре розроблений апарат теорії розпізнавання образів.

Прийнято для всіх об'єктів діагностичного контролю встановлювати наступні класи станів: $W(1)$ - початкове (еталонне); $W(2, \dots, n-1)$ - проміжні; $W(n)$ - граничне.

Кожний клас станів визначається ознаками U_{ij} , тобто існує функціональна залежність $W_i = P(U_1 \dots U_j)$.

Значення ознак для класу станів $W(i)$ визначається з технічної документації для умов параметричної діагностики і в ході навчального експерименту для інтегральної віброакустичної діагностичної інформації.

Ознаки, що використовуються можна розділити на детермінований, імовірні, логічні. До детермінованих відносяться конкретні числові значення параметричної діагностики (температура оливи, корпусних деталей, тиск, витрата мастильної рідини і т.д.). До імовірних відносяться характеристики випадкових процесів віброактивності об'єктів, що діагностуються. До логічних ознак відносяться ознаки, що не мають якісного вираження. Вони являють собою думки якісного характеру типу наявності або відсутності деяких властивостей.

Алгоритм розпізнавання оцінює міру близькості сукупності ознак до раніше певних класів станів, які зберігаються в пам'яті діагностичної системи. Сукупності поточних діагностичних ознак визначають точку в прикметному просторі $U_i = (U_{i1}, \dots, U_{in})$, яка співвідноситься до точки різних

класів станів за допомогою загальнозживаних показників відстані в прикметному просторі:
відстань по Хемінгу

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n |U_{ik} - U_{jk}|, \quad (1)$$

евклідова відстань, $d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n (U_{ik} - U_{jk})^2 \right]^{1/2}$ і т.д. (2)

Точки в прикметному просторі, які визначають фіксовані технічні стани в умовах експерименту отримують статистичне усереднення вибірок з одних членів:

$$U_i^e = \left\{ \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l U_{k1}, \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l U_{k2}, \dots, \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l U_{kn} \right\}, \quad (3)$$

Розпізнавання технічних станів механізмів повинно супроводжуватися оцінкою точності процедур порівняння і обґрунтування відповідного класу станів.

Для класифікації станів механізмів особливо при використанні імовірних ознак рекомендується використати [1] схожість векторів ознак. Найбільш вжитковою мірою схожості є косинус кута $\cos_{ij}$ між векторами U_i і U_j , який можна представити величиною нормованої функції кореляції:

$$\cos_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ik} U_{jk}}{\left[\left(\sum_{k=1}^n U_{ik}^2 \right) \left(\sum_{k=1}^n U_{jk}^2 \right) \right]^{1/2}}, \quad (4)$$

Запропоновану міру схожості зручно використати при зіставленні характеристик часових випадкових процесів, які вміщують значення ознак класів станів, що розпізнаються.

Крім того, при використанні імовірних ознак випадкових величин, як вирішальні правила, застосовують теорему гіпотез або формулу Байеса:

$$P(W_i | a) = \frac{P(W_i) P_i(U_1^0, \dots, U_n^0)}{\sum_{i=1}^m P(W_i) P_i(U_1^0, \dots, U_n^0)}, \quad (5)$$

де W_i - i - розпізнаваний стан;

$U_1 \dots U_n$ - фактичні ознаки стану;

$P(W_i)$ - імовірність розпізнаваного стану.

Вибору віброакустичних діагностичних ознак передусе вивчення статистики відмов. Кожному вигляду відмови стає у відповідність ознака

стану і міра його кількісного вимірювання.

З метою мінімізації маршруту розпізнавання технічних станів при проведенні досліджень встановлена достатня ефективність критерію “відстані Хемінга”, який пройшов масштабні випробування і впроваджений

для контролю процесів спрацювання збагачувального обладнання. Перед вибором критерію розпізнавання станів обладнання всі ознаки доцільно розділити на групи в залежності від швидкості розвитку дефектів. 1 - група - схоплювання контактуючих поверхонь, яке може виявиться як лавиноподібний процес, що приводить до надзвичайно-аварійних ситуацій і тривалих простоїв. Параметри сигналу, що містить інформацію про зародження цих дефектів мають малу енергоємність і вимагають залучення математичного апарату для аналізу миттєвих значень віброакустичних процесів [3].

Найбільш інформативним в цьому випадку є ексцес процесу. Експериментально встановлено, що значення ексцесу характеризує параметри процесу тертя в підшипнику. Момент тертя нормально працюючого підшипника ковзання має характер стаціонарного коливального процесу, енергія якого передається на корпус підшипника. Сучасні п'єзокристалеві перетворювачі здатні вловлювати коливання малопотужних джерел коливань, до яких ми відносимо реактивний момент тертя в підшипнику.

Виникнення ознаки задиру спричиняє порушення стаціонарності коливального процесу, що є важливим джерелом діагностичної інформації. Оскільки розвиток задиру має лавиноподібний характер що приводить до аварійного руйнування (схоплювання) контактуючих поверхонь, необхідно вибрати параметри діагностичного сигналу що мають високу чутливість до стаціонарності коливального процесу. Якісні і кількісні зміни у вібросигналу при появі ознак заїдання, що приводить до задиру підшипника і заклиненню валу виявляються в зміні форми щільності імовірності амплітуд вібросигналу і коефіцієнта ексцесу

$E_k = (\sigma_4 / \sigma^4) - 3$, де σ - центральний момент четвертого порядку

$$\sigma_4 = M\{[X(t) - m(t)]^4\} = \int_{-\infty}^{\infty} [X(t) - m(t)]^4 p(x,t) dx, \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \lim_{m(t) \rightarrow \overline{N}}^1 \frac{1}{N} \sum_{i,j} \{x(t) - \overline{x}\}^2 \quad (7)$$

Для вузькосмугового сигналу на власній частоті підшипника значення E_k для нормально працюючого підшипника дорівнює -0, .., 0,04. Для дефектного стану характерно підвищення коефіцієнта ексцесу на 30...35 дБ.

Висновки.

1. Основним деградаційним явищем, що приводить до раптових відмов пар тертя в механічних передачах чи механізмах є зношення робочих поверхонь, що ускладняється розвитком локальних дефектів контактуючих поверхонь типу вищерблення або задиру.

2. Існує дві групи методів діагностики названих дефектів [1,2]:

перша - орієнтується на вилучення діагностичної інформації з

складових сигналів в зонах основних частот вимушених коливань; 2 - група

орієнтується на інформацію в зонах власних частот механізму (вимірювальної системи). Обидва підходи базуються на тому факті, що виникнення і розвиток пошкоджень контактуючих поверхонь за часом напруження механізму супроводжується появою у віброакустичному сигналі сплесків і ударних імпульсів. З розвитком дефекту інтенсивність ударних імпульсів значно зростає, спричиняючи збільшення амплітудної модуляції (АМ) основних частот збудження при пітінгу і збільшенні індексу частотної модуляції (ЧМ) тих же частот при задири.

Друга група методів призначена для ідентифікації пошкоджень, які розвиваються повільно. Для таких процесів повністю придатні критерії “відстані Хемінга” за даними засобів акустичного контролю спектральних складових акустичних процесів у поєднанні з статичними параметрами функціонування механізму. У невизначених випадках при застосуванні цього методу граничне значення динамічних діапазонів для класифікації відмов отримане на основі існуючого положення, згідно з яким зміна ознаки на 6 дБ вважається істотною.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. М.В. Кіяновський, Н.І. Цивінда, О.В. Чернявська Л.І. Лаухіна, І.О. Зуєв Пояснення процесів втрати працездатності машин за енергетичними прикметами їх фізичної природи/ Розвиток промисловості та суспільства: Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції. 19 -21 травня 2021 р. /Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2021.-С. 84

2. Кіяновський М. В., Цивінда Н. І., Пікільняк А. В., Третяк В. В. Вибір моделей для адаптивного керування надійністю промислового обладнання «за станом» /Авіаційно-космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. Харків «ХАІ», 2020, Випуск № 7(167), С. 137-146

3. M.V.Kiyanovskyi , N.I. Tsyvinda Control over the technical condition of mechanical components of industrial equipment based on energy parameter of its deterioration /Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1, 29 - 30 квітня 2020 р. м. Чернігів, С.35-37

Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Зуєв І.О. (Україна, м. Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МАШИН ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВІБРОДІАГНОСТИЧНИМ МОНІТОРИНГОМ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

В проведених дослідженнях доведено, що найбільш інформативним і ефективним методом збереження ресурсу машин є мінімізації енергетичного рівня взаємодії елементів механізмів відповідно до переважаючих процесів їх пошкодження та проведення технічного обслуговування чи ремонту обладнання у разі, коли процеси пошкодження обумовили досягнення енергетичного бар'єру їх інтенсивного протікання.

Studies have shown that the most informative and effective method of conserving machine life is to minimize the energy level of interaction of mechanism elements in accordance with the predominant processes of damage and maintenance or repair of equipment when damage processes have reached the energy barrier of their intensive flow.

Основним деградаційним явищем, що приводить до раптових відмов пар тертя в механічних передачах чи механізмах є розвиток локальних дефектів контактуючих поверхонь типу вищерблення або задиру. Існує дві групи методів діагностики названих дефектів [1,2]: 1 - орієнтується на вилученні діагностичної інформації з складових сигналів в зонах основних частот вимушених коливань; 2 - група орієнтується на інформацію в зонах власних частот механізму (вимірювальної системи).

Обидва підходи базуються на тому факті, що виникнення і розвиток пошкоджень контактуючих поверхонь за часом напрацювання механізму супроводжується появою у віброакустичному сигналі сплесків і ударних імпульсів. З розвитком дефекту інтенсивність ударних імпульсів значно зростає, спричиняючи збільшення амплітудної модуляції (АМ) основних частот збудження при підтітінгу і збільшенні індексу частотної модуляції (ЧМ) тих же частот при задири.

Досить чутливою ознакою локальних дефектів є n-мірні вектори, сформовані з складових огинаючого спектра (АМ або ЧМ) однієї з вимушених частот дефектного вузла.

У обох випадках в спектрі коливального процесу в границях вимушеної частоти f_0 з'являються або посилюються комбінаційні частоти $(kf \pm l f_1)$, $k, l = 1, 2, \dots$, що свідчить про розвиток локального дефекту.

Імпульсна послідовність пульсацій навантаження $F(t)$ типу ударних обурень, виникаючих при попаданні локального дефекту в зону контакту або в момент схоплювання контактуючих поверхонь, викликає відгук механічної системи на власній частоті дефектного вузла у вигляді осцилюючих коливань типу АЧМ. Спектр відгуку складної механічної системи з n -мірами свободи на короткі імпульси є широкосмуговим, і найкраще на такого роду впливу відгукуються власні частоти сусідніх до джерела збудження вузлів механізму. Найбільша амплітуда відгуку спостерігається на одній з власних частот дефектного вузла.

Співставлення можливостей наведених методів орієнтує на виконання моніторингу тільки на основі функціональних методів діагностики, які забезпечують безрозбірну ідентифікацію технічного стану обладнання без виводу його з експлуатації за методом накопиченої вибірки узагальнюючого параметра технічного стану як часової функції. Виходячи з вимог до вибору методу моніторингу технічного стану встановлено, що найбільш інформативним, найбільш чутливим методом оперативної оцінки у режимі реального часу процесів спрацювання механізмів, що викликають додаткові витрати енергії приводу, є метод оцінки ступеню і інтенсивності спрацювання за критеріями росту потужності коливального збудження зони взаємодії деталей механізмів при появі, розвитку дефектів та накопичення пошкоджень від їх дії [1].

З огляду на цей висновок визначено, що методи віброакустичної діагностики найбільш відповідають встановленим вимогам, забезпечуючи контроль технічного стану оперативно, без розбирання і дешевше альтернативних методів. Метод вібродіагностичного моніторингу зручний тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр „ X ” інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей.

Цей висновок підтверджують дослідження інших авторів. Так в [2] встановлено, що в зміні струму статора відображається біля 16% всіх дефектів, температури перегріву 20 %, вібрації 80 %.

Діагностичну оцінку впливу додаткових енергетичних витрат на забезпечення працездатності технологічних агрегатів доцільно провести з використанням визначеного критерію енергетичного забезпечення працездатності „ X ”.

В проведених дослідженнях зроблена спроба оцінити технічний стан машини виходячи з передумови, що в залежності $R(t)=L(x, t)$, де L - оператор зв'язку факторного простору X і простори параметрів працездатності R , мають функціональні співвідношення. Це можливе, якщо використати

множини статичних параметрів типу температур, тиску і ін., що визначаються для конкретної машини, у поєднанні з інтегральною оцінкою динамічних реакцій машини, механізму або вузла на її робочий процес. Ці динамічні реакції є результатом взаємодії деталей механізму в процесі його функціонування і являють собою механічні коливання і пружні хвилі машини, що розповсюджуються по конструктивних елементах. Ці реакції інструментально вимірюються у вигляді фізичних параметрів: зміщень, швидкостей, прискорень контрольних точок машини.

Згідно з прийнятою концепцією динамічні процеси в технологічній або енергетичній машині посилюються або змінюються при появі дефектів або несправностей. Реєстрація динамічних реакцій виконується за допомогою відповідних вимірювальних засобів. Таким чином, прийнято вважати [4], що функціонуючий механізм треба розглядати як деякий перетворювач A параметрів його технічного стану r_i в параметри динамічних реакцій u_j тобто:

$$\{X\}=A\{R\}, \quad (1)$$

де $\{X\}=\{x_1^{(t)}, \dots, x_n^{(t)}\}$ вектор ознак технічного стану в n -мірному прикметному просторі.

Таким чином додаткові витрати енергії стають пропорційними „ X ” і можуть бути визначеними за наступним виразом :

$$E = \int_0^X |X(f)|^2 df, \quad (2)$$

де E , X , f - відповідно повна енергія, амплітуда і частота коливального збудження машини

Відносно вібраційного стану машин і механізмів потрібно зауважити, що ідеально створена і налагоджена машина не має джерел коливального збудження, тобто працює без вібрацій. Поява вібрацій засвідчує про появу дефектів, пошкоджень, що змінили технічні параметри машини, що вимагає додаткових витрат енергії на збереження динамічної рівноваги механізмів при виконанні робочого процесу. Рівень допустимої вібрації регламентується світовими і регіональними стандартами, наприклад ISO 10816, 2372, VDI 2056, DIN 45655. Дослідження проведенні в [3] показали, що принципом призначення граничних норм вібрації в основних стандартах є регламентація потужності, що витрачає привід на збудження вібрації механізму, в якому, в наслідок неналежного налагодження, спрацювання, пошкоджень, змінились параметри балансування, жорсткості, власні частоти резонансу. Таким чином досягнення граничного рівня вібрації машини, або робота біля граничних рівнів, свідчить про додаткові витрати енергії приводу (до 15%) .

Цей висновок, при сприйнятті рівня коливального збудження машини, як універсального критерію, що корелюється з величиною додаткових витрат

енергії приводу, приводить до простих шляхів зменшення до 15% енерговитрат, за рахунок організації експлуатації з мінімальними рівнем коливального збудження механізмів. Додатково при такій організації експлуатації вдається скоротити до 25-30% експлуатаційних витрат в собівартості виробництва [4].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кіяновський М. В., Цивінда Н. І., Пікільняк А. В., Третьак В. В. Вибір моделей для адаптивного керування надійністю промислового обладнання «за станом» //Авіаційно-космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. Харків «ХАІ», 2020, Випуск № 7(167). С. 137-146

2. Зуєв І.О., наук.кер. д.т.н., проф. Кіяновський М.В., к.т.н., доц. Цивінда Н.І. Дослідження технологічних параметрів для вибору методу відновлення деталей гірничо-металургійного обладнання/ Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: Збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції. 7-8 жовтня 2020 року/ за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. –Краматорськ : ДДМА, 2020.-С.49-54

3. Кіяновський М. В. Діагностичне забезпечення технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання [Текст]. – Кривий Ріг. Вид-во «Окнант принт», 216. -364 с.

Клименко С. А., Румянцева Ю. Ю., Савченко Д.О., Чумак А. О. (Україна, м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України)

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИТІВ ІЗ ПКНБ ГРУПИ BL, АРМОВАНИХ ОКСИДНИМИ ТА БЕЗОКСИДНИМИ ВОЛОКНАМИ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК

Інструменти із композитів на основі полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) широко використовуються при обробці деталей, обробка яких характеризується ударними навантаженнями. Наявність імпульсного навантаження збільшує контактні напруження до двох разів, що обумовлює руйнування інструменту. Відповідно, існує необхідність в створенні композитів нового покоління з підвищеними фізико-механічними властивостями. В роботі представлено концепцію створення нових інструментальних композитів із ПКНБ групи BL, в основу якої покладено армування мікроволоконнами тугоплавких сполук різної фізико-хімічної природи.

Tools made of composites based on polycrystalline cubic boron nitride (PcBN) are widely used in the processing of parts, the processing of which is characterized by shock loads. The presence of a pulse load increases the contact voltage up to two times, which causes the destruction of the tool. Accordingly, there is a need to create a new generation of composites with improved physical and mechanical properties. The paper presents the concept of creating new instrumental composites from PcBN group BL, which is based on microfiber reinforcement of refractory compounds of different physical and chemical nature.

Постановка проблеми. Інструменти із ПКНБ завдяки фізико-механічним властивостям широко використовуються для механічної обробки (точіння, фрезерування) деталей, для яких характерний нерівномірний припуск. До таких виробів належать деталі отримані литвом, деталі відновлені наплавочними покриттями, які призначенні для металургійної і гірничо-збагачувальної промисловості; роз'ємні частини блоків циліндрів та головок ГБЦ двигунів внутрішнього згорання та ін. Такі деталі часто працюють в умовах значних ударних та теплових навантажень та характеризуються складною геометрією виробів з коливаннями значень припуску на обробку та нерівною зовнішньою поверхнею. На поверхні таких виробів часто спостерігається дисперсно-зміцнена «кірка» підвищеної твердості, насичена абразивними включеннями.

Крім того, широке застосування в сучасній промисловості знаходять жаростійкі та жароміцні сплави на основі заліза або нікелю типу Inconel 718. Такі матеріали характеризуються високою міцністю, в'язкістю, високою щільністю теплового потоку, що генеруються в зоні різання, інтенсивною трибо-хімічною взаємодією з інструментальними композитами, що стає причиною їх стрімкого виходу з ладу. Контактні тиски при обробці таких

деталей становлять 3400-4800 Н/мм² при наявності імпульсного навантаження, динамічний коефіцієнт збільшує контактні напруження до двох разів, що обумовлює руйнування інструменту.

Відповідно, існує необхідність в створенні композитів на основі ПКНБ нового покоління з підвищеними фізико-механічними властивостями, що забезпечать високошвидкісну обробку матеріалів в умовах ударних навантажень із забезпеченням відповідної якості обробленої поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні в світі розроблено та застосовується дві групи надтвердих композитів на основі КНБ – з високим ВН (>80%) та низьким ВЛ (45–75%) вмістом надтвердої фракції зерен сBN та зв'язкою на основі нітридів та карбідів тугоплавких металів (TiN, TiC, TiCN, VN, WN та інш.), а також Co, Al, AlN, Si₃N₄ [1, 2].

Композити групи ВН мають структуру, що характеризуються безперервним каркасом із зерен сBN розміром 5-10 мкм з міцним когезійним зв'язком на границях, що обумовлює високі механічні властивості такого типу матеріалів: твердість (32–38 ГПа), тріщиностійкість (8–12 МПа·м^{1/2}), міцність на загин до 1200 МПа [3, 4]. До таких композитів належать AMB90 і DBA80 («ElementSix»), N90 «Megadiamond», серія MBR («Мікробор»), KB90 («TaeguTurn») BN100, BN600, BN700, BN800 («SumitomoElectric»), Кіборит-1 та Борсиніт, виробництва ІНМ ім. Бакуля НАН України. Дані інструменти ефективні при обробці із динамічними навантаженнями, але швидко зношуються при застосуванні в діапазон високошвидкісного різання (200–250 м/хв) у зв'язку з інтенсивною хімічною взаємодією з оброблюваним матеріалом [5, 6].

Для високошвидкісної обробки розроблено композити із ПКНБ групи ВЛ, керамічна матриця яких набагато стабільніша до хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом – навіть в умовах високих швидкостей і температур в контактній зоні. При високошвидкісній обробці (200–250 м/хв) загартованих сталей не спостерігається дифузійного розчинення зерен зв'язок типу TiC та TiN, які виступають каркасом, що мінімізує зношування основної надтвердої фази. Основним принципом побудови структури ВЛ композитів є мінімально-можливий розмір зерен сBN (1–3 мкм) та дрібнозерниста матриця, що щільно облягає надтверду фазу [7, 8]. До сучасних матеріалів цієї групи належать SECO CBN100, CBN50, Sumitomo BNC 2010, BNC 2020, ElmentSix DHA 650, SandvikCoromant CB7015, CB7025 та деякі марки, що вироблені в ІНМ: Кіборит-3 та Кіборит-4.

При високій стійкості, основним недоліком композитів з низьким вмістом зерен сBN є недостатня міцність: за тріщиностійкості 3–5 МПа·м^{1/2} міцність на згин, як правило, не перевищує 800 МПа, твердість таких матеріалів також зазвичай нижча у порівнянні з ВН групою – менше 30

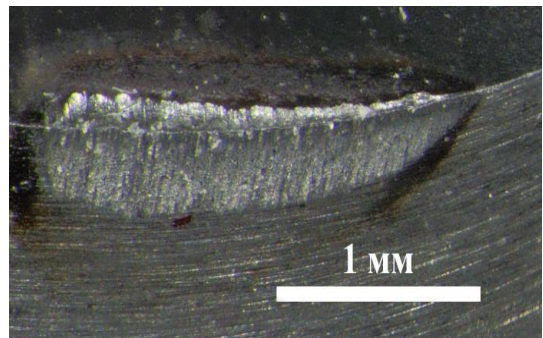
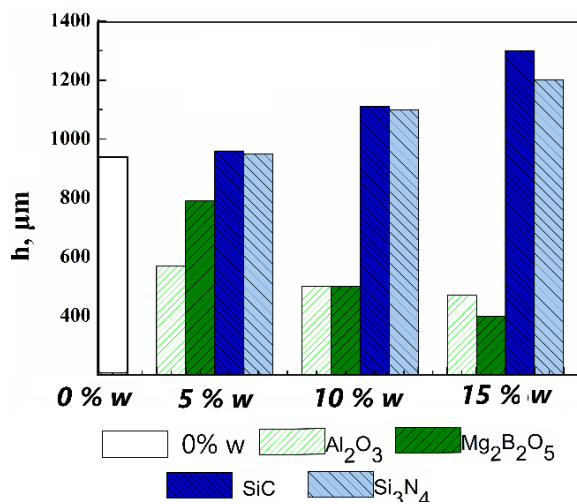
ГПа, що на даний час обмежує область їх застосування чистовою обробкою загартованих сталей та жаростійких сплавів [9, 10].

Формулювання раніше не вирішених частин загальної проблеми. Аналіз численних публікацій присвячених створенню композитів із ПКНБ за допомогою традиційних технологій термобаричного спікання складних сумішей розглянуто достатньо детально. Проте, ідеї одержання композитів із ПКНБ групи ВL з підвищеними фізико-механічними властивостями, які досягаються за рахунок армування мікрОВОлокнами різних хімічних сполук, приділено недостатньо уваги.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розробка концепції створення композитів із ПКНБ групи ВL з підвищеними механічними властивостями для високоефективної обробки важкооброблюваних матеріалів з ударними навантаженнями, шляхом пошарового армування матриці композиту оксидними та безоксидними мікрОВОлокнами тугоплавких сполук, що дозволить підвищити міцність, тріщиностійкість та зносостійкість інструменту.

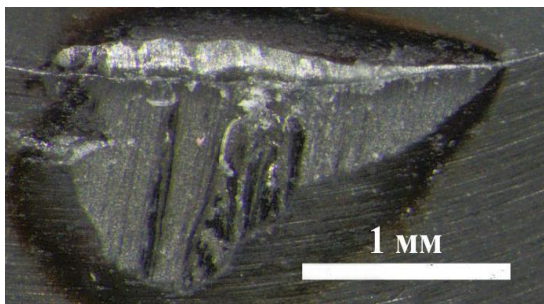
Виклад основного матеріалу. Серед напрямків удосконалення експлуатаційних властивостей інструментів із ПКНБ є створення композитів з додаванням армуючих мікрОВОлокн тугоплавких сполук, що діють позаду фронту розповсюдження тріщини та є більш ефективними, проте майже не використовувалися для матеріалів на основі нітриду бору. Так, дослідженню впливу армуючих волокон на мікроструктуру та властивості надтвердих композитів присвячена вкрай обмежена кількість робіт, при чому основна частина таких робіт присвячена саме армуванню високовартісними мікрОВОлокнами SiC [11-13]. Проте, висока вартість даних волокон, обумовлена складністю процесу контролю домішок під час їх виготовлення, змушує дослідників шукати інші види волокон.

Результати попередніх робіт [14-16] показали, що одними з найбільш конкурентно здатних є оксидні мікрОВОлокна. Зокрема, збільшення вмісту мікрОВОлокн Al_2O_3 , $Mg_2B_2O_5$ з 5 до 15 об. % до композиту на основі cBN зі зв'язкою TaN приводило до монотонного зменшення зносу робочого інструменту, не дивлячись на дещо нижчу K_{IC} таких композитів, що пов'язано з різницею коефіцієнтів термічного напруження (КТР) волокна та матричного матеріалу. З іншого боку, цікавим також є той факт, що зразки з додаванням мікропорошків Al_2O_3 мали дещо вищі значення K_{IC} , ніж композити з додаванням Al_2O_3w , проте, зразки з додаванням мікропорошків демонстрували сколювання навіть під час низьких швидкостей роботи різального інструменту (80 об./хв), в той час як армовані мікрОВОлокнами Al_2O_3w зразки показували високу стійкість до ударних навантажень навіть за високих швидкостей різання (200 об./хв) рис. 1.



а

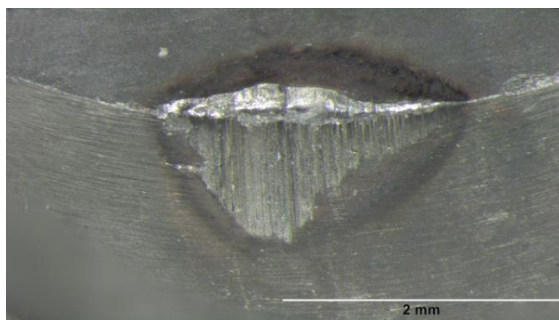
б



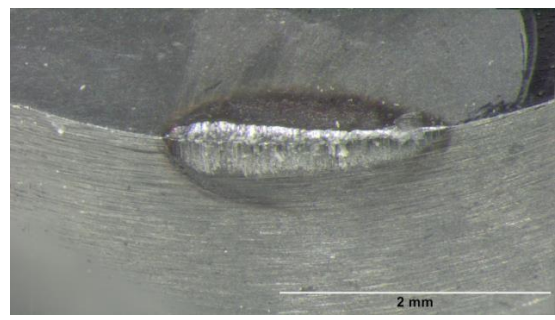
в



г



д



е

Рис. 1. Залежність глибини зносу від вмісту мікрОВОлокон (а) та морфологія зносу неармованого зразка системи cBN – TaN – Al (б) та армованих мікрОВОлокнами зразків cBN – TaN – Al – SiCw (в), cBN – TaN – Al – Si₃N₄w (д) cBN – TaN – Al – Al₂O₃w (з) cBN – TaN – Al – Mg₂B₂O₅w (е)

В цілому, напрямком рішення проблеми забезпечення таких властивостей інструментальних композитів, які б дозволили проводити обробку при інтенсивних знакозмінних термобаричних навантаженнях динамічного типу і, одночасно, високій швидкості різання є розробка нових композитів, що поєднують у собі найкращі характеристики ВЛ та ВН груп, а саме: з одного боку – матимуть високу міцність ($TRS > 800$ МПа) та твердість ($HV > 32$ ГПА), з іншого – будуть термохімічно стабільними.

Вказане можливо реалізувати шляхом пошарового армування структури композитів оксидними волокнами сполук Al₂O₃w, Mg₂B₂O₅w, які є

хімічно інертними та не взаємодіють з киснем та оброблюваними матеріалами на основі заліза, проте, слід зазначити, що при температурі різання вище 1200 °С можливе падіння механічних властивостей, а також перекристалізація окремих сполук з утворенням фази з низькими термомеханічними властивостями. Для нівелювання зменшення механічних властивостей композиту при температурах різання більше 1200 °С пропонується додавати шар безоксидних мікрОВОЛОКОН на основі сполук SiC_w та Si_3N_4_w , які характеризуються вищими механічними властивостями (мікротвердості, тріщиностійкості, та вищої температури перекристалізації) проте піддаються хімічній взаємодії з оброблюваним матеріалом. В кінцевому рахунку буде створено багатошаровий композит на основі ПКНБ армований мікрОВОЛОКНАМИ оксидних та без оксидних сполук в якому кожен шар буде виконувати певні функції – зменшення хімічної взаємодії (оксидні мікрОВОЛОКНА) та підвищення фізико-механічних властивостей (безоксидні мікрОВОЛОКНА), вказана архітектура та хімічний склад композиту дозволить збільшити границю міцності на згин, що дозволить проводити обробку в умовах динамічних навантажень одночасно забезпечуючи головну перевагу ВЛ групи інструментів із ПКНБ – високу стійкість до хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом при обробці широкої номенклатури сучасних матеріалів.

Висновки. В роботі представлена концепція створення нового типу композитів із ПКНБ групи ВЛ, пошарово армованих оксидними мікрОВОЛОКНАМИ Al_2O_3_w , $\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5_w$ для зменшення хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом та безоксидними мікрОВОЛОКНАМИ SiC_w та Si_3N_4_w для підвищення фізико-механічних властивостей композиту при температурах різання > 1200 °С, що дозволить створити різальні інструменти із ПКНБ групи ВЛ з підвищеною стійкістю до хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом та високими фізико-механічними характеристиками, достатніми для проведення обробки в умовах динамічних навантажень на швидкостях різання до 200 м/хв.

ДЖЕРЕЛО ФІНАНСУВАННЯ

Роботу виконано за фінансової підтримки Національної академії наук України в рамках виконання проекту «Розробка та дослідження нових композитів на основі кубічного нітриду бору для оснащення різальних інструментів, які застосовуються в умовах ударних навантажень» (договір № 11/01-2022(4)) (проект-переможець конкурсу проектів науково-дослідних робіт молодих учених НАН України).

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Hooper R. M., Shakib J. I., Brookes C. A. Microstructure and wear of TiC-Cubic BN tools // *Materials Science and Engineering*. – 1988. – V. A 105/106. – P. 429–433.

2. Kanyanta, V. *Microstructure-property correlations for hard, superhard, and ultrahard materials*; Springer: New York, 2016; pp 76-81.
3. Петруша І.А. Термобаричне спікання і працездатність різального композиту cBN-TiC групи BL при точінні загартованої сталі *Caldie* / І.А. Петруша, В.М. Бушля, О.С. Осіпов та ін. // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2015. – 548 с. – Вып. 18 – С. 338–345.*
4. Петруша І.А. Термобаричне спікання і працездатність різального композиту cBN-TiC групи BL при точінні загартованої сталі *Caldie* / І.А. Петруша, В.М. Бушля, О.С. Осіпов та ін. // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2015. – 548 с. – Вып. 18 – С. 338–345.*
5. Bertram, B.; Gerhardt, R. Properties and applications of ceramic composites containing silicon carbide whiskers. In *Properties and Applications of Silicon Carbide*. Prof. Rosario Gerhardt. 2011, 536; 197-230.
6. Osipov, A. S. Composites of the cBN-Si₃N₄ system reinforced by SiCw for turning tools. *Journal of Superhard Materials*. 2016, 38 (1), 1-7.
7. Румянцева, Ю. Ю.; Бушля, В. Н.; Ошовська, А. Ю.; Туркевич, В. З. Армування матеріалу на основі кубічного нітриду бору мікрОВОлокнами карбіду силіцію. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. 2018, 21, 267–275.
8. Rumiantseva, Yu. Yu.; Bushlya, V. N.; Petrusha, I. A.; Turkevich, V. Z. Influence of the reinforcement by the whiskers of Si₃N₄ and Mg₂B₂O₅ on the properties of cBN-based composites. *Rock cutting and metal-working tools – a technique and technology of his making and application*. 2019, 22, 260–270.

Кравцова Д.Ю., Бондар О.В., Комнатний І.В. (Україна, Кривий Ріг, КНУ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ МІДІ НА ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ 3D-ДРУКУ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МАТЕРІАЛУ УКРАЇНСЬКИХ ВИРОБНИКІВ

У роботі висвітлено проблему гальванічного електроосадження металів на вироби 3D-друку. Розглянуто закордонні роботи, у яких показано вдалі спроби виконати осадження із метою створення виробів різноманітного призначення, на матеріалах закордонних виробників. Виявлено дефіцит аналогічних досліджень на матеріалах українських виробників і поставлено мету вивчити можливість виконати гальванічні покриття на українських матеріалах.

The paper highlights the problem of galvanic electrodeposition of metals on 3D printing products. Foreign works are considered, which show successful attempts to perform deposition on the materials of foreign manufacturers. There is a shortage of similar research on the materials of Ukrainian manufacturers and the goal is to study the possibility of performing galvanic coatings on Ukrainian materials.

Матеріали, які використовують для створення деталей у молодому напрямку машинобудування – 3D-друці, мають досить високі механічні характеристики. Вони дуже перспективні для виготовлення відповідальних деталей машин, однак, у них є недолік пов'язаний з хімічною стійкістю, стійкістю до ультрафіолету, а також зовнішній вигляд пластику. Підвищити такі характеристики виробу можна шляхом подальшої обробки після друку, наприклад, нанести металеве покриття на поверхню методом електрохімічного осадження.

Основною проблемою електроосадження металів на вироби 3D-друку – високий електричний опір матеріалів, який сильно його гальмує осадження або іноді зовсім унеможлиблює.

У багатьох роботах розглянуто як нанести металеве покриття на 3D-друк зі різною метою: у медичинських цілях, для виготовлення електродів різного призначення, електроніки. У [1] американські дослідники використовувати двоматеріальний 3D-друк із провідним композитом PLA/міді та ізоляційною ниткою з акрилонітрил-бутадієн-стиролу (ABS) з наступним селективним гальванічним нанесенням провідних доменів шарами міді та нікелю для створення 3D-друкованих схем. Група авторів із Сінгапура і Чехії [2] взяли стрижні, надруковані з композиту PLA/графен, і виконали срібне гальванографія з наступним відбілюванням хлоридом для виготовлення 3D-друкованих електродів. У [3] використовували 3D-друк з

двох матеріалів для створення електрохімічних проточних клітин з інтегрованими електродами PLA/графену, додатково гальванізованими золотом, що використовується для електрохімічного виявлення катехолів. Автори із Бразилії [4] взяли диски, 3D-надруковані з композиту PLA/графен, і модифікували їх шарами золота, платини та паладію для виготовлення електродів для електроокислення гліцерину. Нещодавно у роботі [5] опублікували всебічне дослідження гальванічного покриття міддю 3D-друкованих об'єктів, виготовлених із композитних ниток PLA/міді, PLA/сажі та PLA/графену. Кім та ін. [5] надрукували лінійні стрижні за допомогою трьох наявних у продажу провідних ниток (Electrifi, Black Magic і Proto-Pasta), щоб дослідити вплив падіння потенціалу на одноетапне електроосадження міді. Питомий опір надрукованих слідів становив 0,025 Ом·см для Electrifi, 1,18 Ом·см для Black Magic і 10,83 Ом·см для Proto-Pasta. Було нанесено мідь гальванічним покриттям на стрижень, під'єднавши один кінець стрижню (вкритого Ag-пастою) до джерела живлення і зануливши слід в електроліт $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ для виконання гальваностатичного електроосадження міді.

Подібних досліджень із матеріалами для 3D-друку українських виробників не знайдено, однак, комерційно доступні матеріали в Україні перш за все українські. Таким чином, мета подальших досліджень є пошук, закупка і спроби електроосадження міді на виробах 3D-друку українських виробників, наприклад, компаній Pochatok Filament [6], Plexiwire [7].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Selective Electroplating for 3D-Printed Electronics* / N. Lazarus et al. *Advanced Materials Technologies*. 2019. Vol. 4, no. 8. P. 1900126. doi:10.1002/admt.201900126
2. *3D-printed Ag/AgCl pseudo-reference electrodes* / N. Rohaizad et al. *Electrochemistry Communications*. 2019. Vol. 103. P. 104–108. doi:10.1016/j.elecom.2019.05.010
3. *Single-step fabrication of electrochemical flow cells utilizing multi-material 3D printing* / G. D. O'Neil et al. *Electrochemistry Communications*. 2019. Vol. 99. P. 56–60. doi:10.1016/j.elecom.2018.12.006
4. Guima K.-E., Souza V. H. R., Martins C. A. *Insulating 3D-printed templates are turned into metallic electrodes: application as electrodes for glycerol electrooxidation*. *RSC Advances*. 2019. Vol. 9, no. 27. P. 15158–15161. doi:10.1039/c9ra01436e
5. *One-step electrodeposition of copper on conductive 3D printed objects* / M. J. Kim et al. *Additive Manufacturing*. 2019. Vol. 27. P. 318–326. doi:10.1016/j.addma.2019.03.016
6. *Український виробник PLA пластика для 3D друку - Pochatok Flaitment*. Pochatok Flaitment. URL: <https://pochatok-filament.com.ua/uk/>
7. *Plexiwire - українська компанія 3D-друку. Plexiwire пластик для 3d принтера, матеріали для 3d друку в Україні*. URL: <https://shop.plexiwire.com.ua/>

Kulyk R.Yu. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF QUALITY OF ASSEMBLY OF MULTIPOLTED JOINTS.

The article presents the rationale for the use of acoustic methods to determine the tightening force of threaded connections, which is necessary for the technological operations of assembling mechanisms and machines during their production or repair, which is especially important for ensuring the quality of multi-bolt connections.

An objective assessment of the performance and safety of technical objects containing threaded connections is, in most cases, impossible without reliable information about the forces acting in the parts to be connected [1]. The simplest tightening force control devices, such as torque wrenches, have large errors [2].

Currently, non-destructive testing methods are increasingly being used, in particular, acoustic testing methods. However, the scope of acoustic methods can be expanded and used to study the tightening force of bolted joints. This method has the advantage of being used in production conditions [3].

The method for determining the stress state of a part is based on the elastic-acoustic effect. Its essence lies in the calculation of linear dependences of the velocity of elastic waves on stresses, the reliable experimental determination of which became possible with the advent of modern ultrasonic and electronic measuring equipment [4].

Thus, acoustic methods can be applied to control multi-bolt critical connections.

Complex assembly joints consist of many elements, each element has its own mass and resonant frequency. By applying an acoustic signal to a part, you can see the spectrum of each element, including bolted connections. In our opinion, two methods can be used as a stimulating effect supplied to a controlled object:

- pulse - a method in which the object is subjected to a single excitation (mechanical, electromagnetic);
- spectral - "white noise" is applied to the part, with the help of which the resonant frequencies of all connections are obtained.

The first method has a significant drawback - the speed of the process is very high, and, consequently, the flow time is so short that it is not possible to record complete information about the process.

Using the second method, the time and speed of the process are unlimited, which makes it possible to obtain complete information about the object [5].

The reflected spectrum of a multi-bolt connection makes it possible to determine its resonant frequency under voltage. By changing the tightening force, it is possible to determine the nature of the change in the resonant frequencies of the bolted connection at one or another steady value.

Thus, knowing the change in the frequencies of the elements in a simple connection, it can be assumed that the same changes will occur in a complex structure, but the number of resonant frequencies will depend on the number of bolted connections..

REFERENCES

1. Ermolov I.N. *Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya*. M.: Mashino-stroenie, 1981. 240s.
2. *Metody akusticheskogo kontrolya metallov*, pod red. N.P.Aleshina. M.: Mashinostroenie, 1989. 456s.
3. *Ul'trazvukovye preobrazovateli dlya nerazrushayushchego kontrolya*, pod red. I.N.Ermolova. M.: Mashinostroenie, 1986. 280s.
4. *Nerazrushayushchij kontrol'*. V 5 kn. Kn.2. *Akusticheskie metody kontrolya: Prakt. posobie* / I.N.Ermolov, N.P.Aleshin, A.I.Potapov; pod red. V.V.Suhorukova. M.: Vysshaya shkola, 1991. 283s.
5. Kovalevskij S. V. *Razvitie metodov akusticheskoy diagnostiki v mashino-stroenii: monografiya* / S. V. Kovalevskij, E. S. Kovalevskaya, V. I. Tulupov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – 91 s.

Луца Ю.В., Дук В.Г., Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОРЕЗОНАНСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЗМІНИ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО РІВНЯ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі приводяться результати експериментальної перевірки наявності змін атомно-молекулярного рівня неметалевих матеріалів (органічне скло і текстоліт) в результаті магніторезонансної обробки. Підтверджена ефективність використання магнітного поля в ролі рівномірного потоку для впливу на оброблюваний матеріал.

The paper presents the results of experimental verification of changes in the atomic and molecular levels of non-metallic materials (organic glass and textolite) as a result of magnetic resonance processing. The efficiency of using the magnetic field as a uniform flow to affect the processed material is confirmed.

Розробка енерго- та ресурсозберігаючих технологій за рахунок наукомістких і комбінованих методів обробки – запорука стійких конкурентних переваг на ринку машинобудівної продукції та її успішної комерціалізації. Перед підприємствами постає завдання знаходження оптимальних рішень на стику високих вимог до експлуатаційних властивостей виробів з потребами ресурсозбереження. Успішне його вирішення базується на комплексних дослідженнях, пов'язаних із розробкою і застосуванням у виробництві технологічних методів, що дозволяють цілеспрямовано формувати структуру із заданими фізико-механічними властивостями. Значна частина цих методів пов'язана із застосуванням впливів полів різної природи.

Дослідження останніх років в області магнітопольових впливів [1-3] підтверджують, що зовнішні енергетичні поля можуть на якісному рівні впливати на структуру і механічні властивості матеріалів. Недостатня вивченість механізмів, що супроводжують процеси модифікації [4], зумовлює необхідність проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Метою даної роботи є експериментальне виявлення наявності змін атомно-молекулярного рівня матеріалів в результаті магніторезонансної обробки.

Для проведення дослідження використовувалася експериментальна установка (рис.1, а), конструкція і принцип дії якої наступні. Зразок встановлюється між двома неодимовими магнітами. Між зразком і верхнім магнітом розташований струмознімач: контакт проходить по п'єзокераміці, нанесеній на підкладку. Щільність контакту забезпечується притисканням магнітною силою. Цифровий сигнал білого шуму (БШ) подається на вхід підсилювача низьких частот (ПНЧ) потужністю 300 Вт. На виході підключено резистор $R=4\text{ Ом}$. Широкосмуговий сигнал, який виступає вібробудувачем, за допомогою клєми подається на магніт безпосередньо у вигляді модульованого цим сигналом струму. Запропонована схема експериментальної установки реалізована на прикладі зразків з органічного скла (рис.1, б) і текстоліту (рис.1, в).

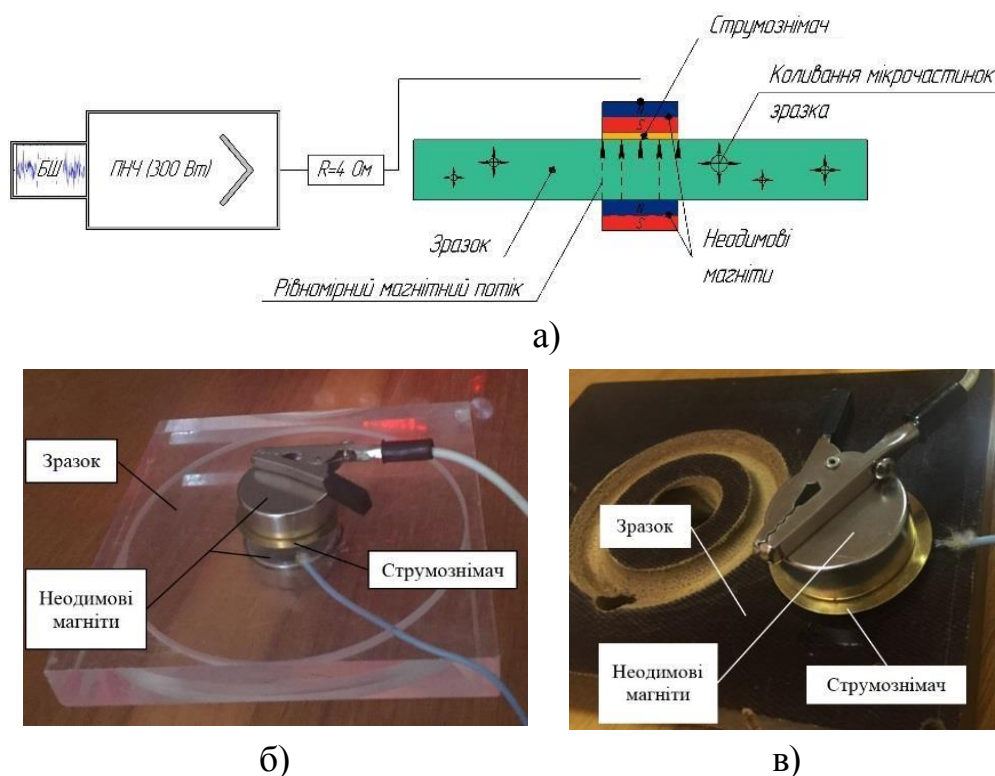


Рис. 1 Експериментальна установка: а) принципова схема;
 б) дослідницька реалізація на зразку з органічного скла;
 в) дослідницька реалізація на зразку з текстоліту

Обробка зразка з оргскла тривала протягом 30 хв, з текстоліту – протягом 40 хв. З інтервалом у 5 хв знімалося по 10 вимірів твердості зразка. Кожен вимір характеризує точку з певною ймовірністю p_i , що визначена за формулою [5]:

$$p_{ij} = \frac{HB_{ij}}{\sum_{j=1}^{10} HB_{ij}}; \quad \sum_{j=1}^{10} p_{ij} = 1; \quad (1)$$

де HB_{ij} – значення твердості j -го виміру для i -го інтервалу часу.

Далі для кожного інтервалу часу обробки розраховано показник інформативності I_i за формулою [5]:

$$I_i = - \sum_{j=1}^{10} (p_{ij} \log_2 p_{ij}). \quad (2)$$

Показник ентропії розглядається як показник інформативності з протилежним знаком. Середні значення твердості за 10 вимірами і розраховані значення інформативності для кожного інтервалу часу обробки для зразка з оргскла наведено в таблиці 1, для зразка з текстоліту – в таблиці 2.

Таблиця 1 Результати експериментального дослідження (зразок з органічного скла)

Час t , хв	0	5	10	15	20	25	30
$HB_{\text{ср}}$, МПа	156	173	180	191	180	185	183
I	3,3205	3,3210	3,3142	3,3217	3,3190	3,3218	3,3210

Таблиця 2 Результати експериментального дослідження (зразок з текстоліту)

Час t , хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$HB_{\text{ср}}$, МПа	176	183	193	198	198	195	179	172	172
I	3,3218	3,3216	3,3218	3,3219	3,3219	3,3217	3,3206	3,3213	3,3217

Результати дослідження ілюструють графічні залежності твердості (НВ) від часу обробки (t) для зразка з оргскла (рис.2, а) і зразка з текстоліту (рис.2, б) та залежності інформативності (I) від часу обробки (t) для зразка з оргскла (рис.2, в) і зразка з текстоліту (рис.2, г).

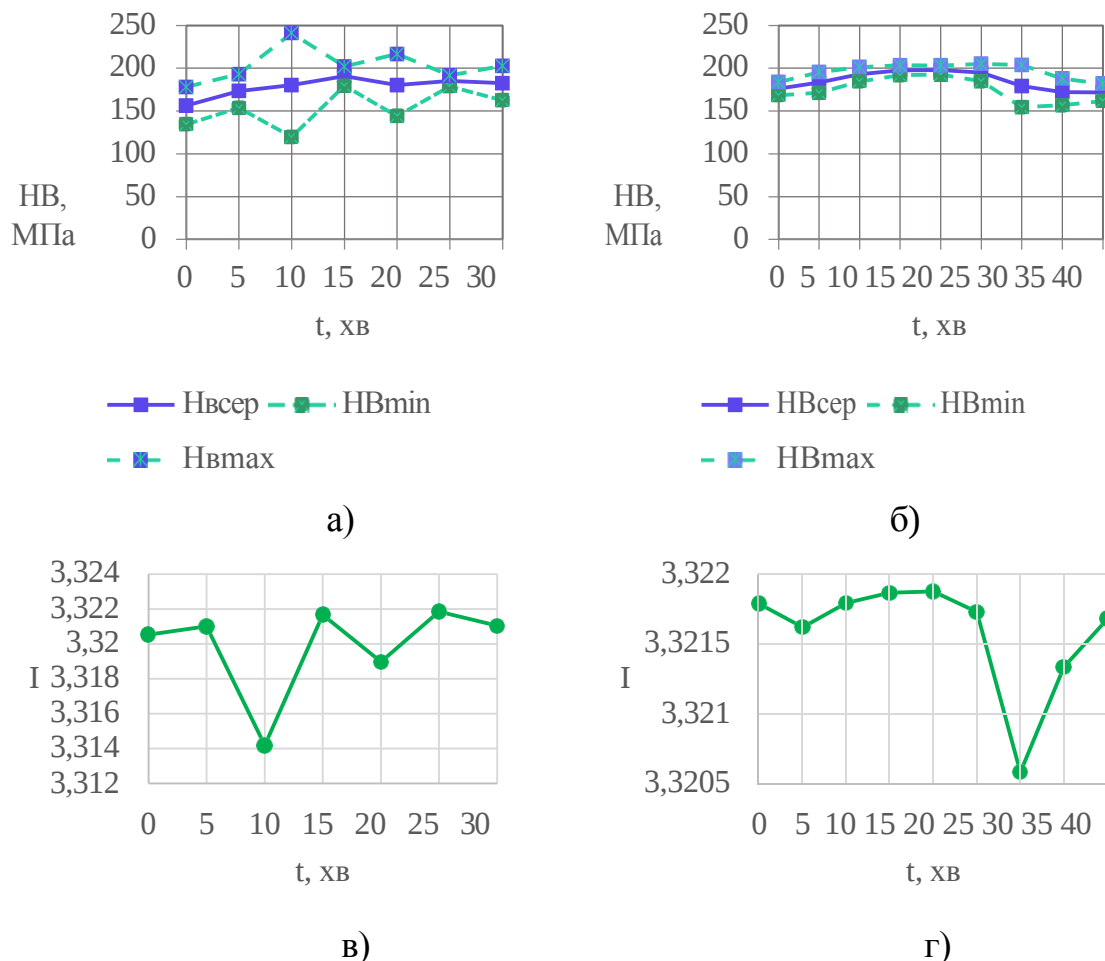


Рис. 2 Графічні залежності: а) залежність $HB=f(t)$ для зразка з оргскла; б) залежність $HB=f(t)$ для зразка з текстоліту; в) залежність $I=f(t)$ для зразка з оргскла; г) залежність $I=f(t)$ для зразка з текстоліту

Мінімум ентропії відповідає максимальному значенню твердості, досягнутому на 15-й хвилині обробки.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження підтверджено вплив магніторезонансної обробки на зміни атомно-молекулярного рівня матеріалів. Процес зміцнення супроводжується спаданням ентропії – зростає впорядкованість об'єкта внаслідок упорядкування доменів, ущільнення дислокацій.

Результати експериментального дослідження підтверджують ефективність використання магнітного поля в ролі рівномірного потоку для впливу на оброблюваний матеріал, що дозволяє значно розширити технологічні можливості комбінованої об'ємної обробки та окреслює перспективи стосовно можливості отримання заданого комплексу експлуатаційних характеристик, керування зовнішніми і внутрішніми властивостями виробів – не лише металевих, а і будь-яких інших.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Philip E. Goins. *Effect of magnetic fields on microstructure evolution* / Philip E. Goins, Heather A. Murdoch, Efraín Hernández-Rivera, Mark A. Tschopp // *Computational materials science*, 2018. P.464-474.
2. Kovalevskyy S.V. *Magnetic resonance processing of materials* / Kovalevskyy S.V., Kovalevska O.S. // *Proceedings of Odessa Polytechnic University*, Issue 3(62), 2020. – P. 29-37.
3. Goins P.E. *Effect of magnetic fields on microstructure evolution* / P.E. Goins, H.A. Murdoch, E. Hernández-Rivera, M.A. Tschopp // *Computational Materials Science*. – 2018. – P. 464-474.
4. Pamyatnykh L.A. *Motion and Interaction of Magnetic Dislocations in Alternating Magnetic Field* / L.A. Pamyatnykh, B.N. Filippov, L.Y. Agafonov, M.S. Lysov // *Scientific Reports*. – 2017. – P.18084.
5. Ковалевский С.В. *Диагностика технологических систем и производ машиностроения (з использованием нейронного подхода): монография* / Ковалевский С.В., Ковалевська О.С., Коржов Є.О., Кошевой А.О. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – 183 с.

Магопець М.С., Шепеленко І.В. (Україна, м. Кропивницький, ЦНТУ)

МЕТОД ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ НА ОСНОВІ ДЕФОРМУЮЧОГО ПРОТЯГУВАННЯ

Розглянуто напрямок розвитку методів інженерії поверхні деталей машин – створення гібридних технологій. Використання таких технологій дозволяє поєднувати переваги різних методів, в тому числі модифікації поверхні та нанесення покриттів з більш високими експлуатаційними властивостями деталей. На прикладі обробки гільз циліндрів ДВЗ доведена ефективність запропонованої комбінованої технології.

The direction of development of methods of engineering of a surface of details of cars - creation of hybrid technologies is considered. The use of such technologies allows to combine the advantages of different methods, including surface modification and coating with higher performance properties of parts. The efficiency of the proposed combined technology is proved on the example of processing of cylinder liners of internal combustion engine cylinders.

Напрямок сучасного машинобудування, що вміщує розвиток відомих і створення нових технологій впливу на поверхневий шар деталі, є управління їх складом, структурою і властивостями, яке отримало визначення «інженерія поверхні деталей машин» [1].

На сьогодні відомі більше двохсот методів інженерії [2], які доцільно класифікувати таким чином: нанесення покриттів, модифікування поверхневого шару, технологічні і комбіновані (гібридні) методи. При цьому особливу увагу дослідників заслуговують різні технології нанесення покриттів. Це пов'язане з тим, що з точки зору підвищення надійності і ресурсу необхідно, щоб кожна деталь незалежно від матеріалу виготовлення мала захисне покриття відповідно до свого прямого призначення та умов експлуатації [3]. Маючи ряд переваг (товщину 0,005÷5 мм; високий рівень фізико-механічних властивостей; розроблені устаткування і технологічне оснащення), покриття все ж недостатньо надійно утримуються на основі, вимагають фінішної механічної обробки, створюють великий градієнт шкідливих залишкових напружень. Методи чистової (фінішної) обробки деталей холодним пластичним деформуванням (ХПД) в цьому плані мають істотні переваги, а саме: забезпечують сприятливий мікрорельєф оброблюваної поверхні, зміцнення поверхневого шару і, як наслідок, високі експлуатаційні властивості.

Безумовно, що кожен технологічний методів впливає на експлуатаційні властивості поверхонь деталей машин через комплекс геометричних і фізико-

механічних характеристик поверхні, в першу чергу, точність, шорсткість, опорну площу, мікрорельєф, макрорельєф, пористість, твердість, мікротвердість, залишкове напруження, мікроструктуру, текстуру, адгезійні властивості, міцність зчеплення з основою, ресурс використаної пластичності та ін. У зв'язку з цим найбільш ефективний процесом інженерії поверхонь деталей машин, як в основному, так і на вторинному (ремонтно-відновлювальному) виробництві, є гібридні технології. Гібридні методи припускають отримання нового ефекту від дії на деталь двома або більше різнорідними процесами, що належать до однієї або різних груп інженерії поверхні [4].

Одним з прикладів використання гібридних методів інженерії поверхні є розроблений технологічний процес обробки гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання з використанням методу ХПД – деформуючого протягування і нанесення покриттів – фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) [5].

Поєднання ХПД і ФАБО дозволив розробити ефективний варіант технологічного процесу обробки внутрішньої поверхні гільзи циліндрів ДВЗ із сірого модифікованого чавуну.

Порівняння фізико-механічних характеристик поверхневого шару, оброблених за базовою технологією (розточення і хонінгування) та з використанням гібридизації методів (протягування і ФАБО) показало велику різницю між ними (рис.1).

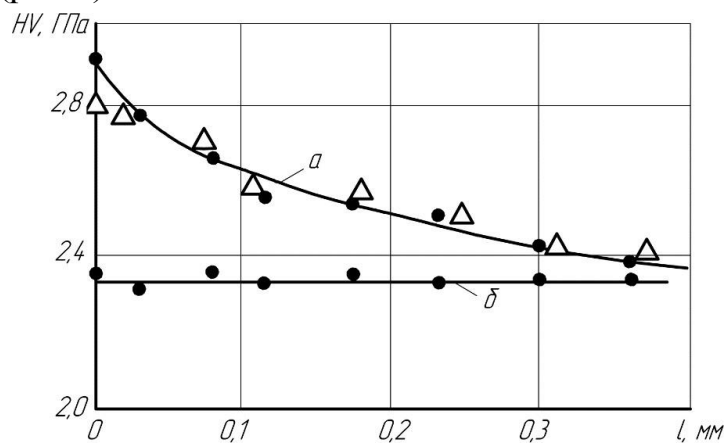


Рис.1. Розподіл твердості за товщиною стінки гільзи циліндрів ДВЗ при обробці: а – з використанням принципів гібридизації ($\square$ – після протягування; $\square$ – після протягування і ФАБО); б – за базовим технологічним процесом [5]

Дослідження геометричних характеристик поверхневого шару, а також їх зміни в процесі обкатки і експлуатації також показало перевагу комбінованої технології: отриманий мікрорельєф поверхневого шару (рис.2)

являє собою опорні площадки, які чергуються із впадинами, що виконують роль змащувальних резервуарів при експлуатації.

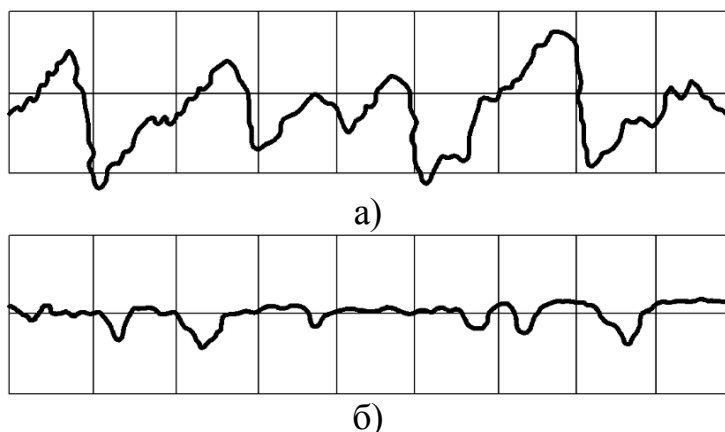


Рис.2. Профілограми мікронерівностей робочої поверхні гільзи ДВЗ після обробки: а) за базовим технологічним процесом; б) ХПД + ФАБО [5]

Аналіз техніко-економічних розрахунків показав, що використання технологічного процесу на основі гібридизації методів інженерії поверхні дозволив збільшити продуктивність обробки отвору до 4 разів, знизити витрати на інструмент в 3 рази, що призводить до зниження собівартості відновлення гільзи приблизно в 4 рази. Розглянутий технологічний процес забезпечує отримання робочої поверхні гільзи з поліпшеними фізико-механічними і трибологічними характеристиками і шорсткістю, близькою до експлуатаційної.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Посвятенко Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія/ Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Е. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.
2. Шепеленко І.В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.02.08 / НТУУ „КПІ ім. І. Сікорського”. – К., 2021. – 43 с.

Надіч П.В., Кінденко М. І. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ

Надана робота присвячена дослідженню питань пов'язаних з підвищенням експлуатаційних властивостей інструментів з швидкорізальних сталей шляхом магнітно-імпульсної обробки, що представляє собою поєднання електромагнітного і термодинамічного способів управління не рівноважною структурою речовини.

This paper is devoted to the study of issues related to improving the performance of tools for high-speed steels by magnetic pulse processing, which is a combination of electromagnetic and thermodynamic methods of controlling the non-equilibrium structure of matter.

В даний час в теоретичних роботах і практиці машинобудування отримують розвиток питання, пов'язані з технологічним зміцненням поверхневих шарів інструменту і зміною їх властивостей в потрібному напрямі [1].

Одним із основних напрямків фізичної технології на сучасному етапі в області підвищення стійкості осьового інструменту є магнітна обробка швидкорізальних сталей[2].

Аналіз літературних даних про особливості та фізичну сутність процесу магнітної обробки показує, що магнітно-імпульсна обробка являє собою поєднання електромагнітного та термодинамічного способів управління нерівноважною структурою речовини [3].

Разом з тим поки ще немає і єдиного, всебічно підтвердженого погляду на причини, що викликають зміну експлуатаційних властивостей ріжучого інструменту в результаті впливу імпульсного магнітного поля.

Метою роботи є на базі відомих теоретичних уявлень проаналізувати причини підвищення стійкості інструменту в результаті впливу магнітного поля.

Проблема вдосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей осьовим інструментом з швидкорізальної сталі, що забезпечують високу продуктивність, мінімальну собівартість, високу точність, задану якість та експлуатаційні властивості деталей машин, є дуже актуальною.

Поліпшення властивостей у феромагнітних деталей, які пройшли магнітно-імпульсну обробку (МІО) досягається за рахунок спрямованої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем, внаслідок чого збільшується тепло- і електропровідність матеріалу. Взаємодія імпульсного

магнітного поля з деталлю з струмопровідного матеріалу відбувається тим інтенсивніше, чим вище структурна і енергетична неоднорідність речовини.

Енергетичний стан феромагнетика визначається енергетичною і квантовою взаємодією магнітних моментів всіх зовнішніх електронів атомів речовини, що утворюють конкретну деталь.

Можна визначити енергетичний стан Φ конкретного атома металу з урахуванням його збудження зовнішнім магнітним полем за такою залежністю

$$\Phi = \Phi(x, y, z, t) = S \cdot L = P_s, \quad (1)$$

де $\Phi(x, y, z, t)$ – енергетичний стан матеріалу масою m при об'ємі V ;
 S – не рівноважний стан атомів речовини, здатних змінювати його
 L

під дією зовнішнього магнітного поля середньої напруженості;

$P_s = \frac{1}{2} \mu_0 M^2$ – характеризує магнітну енергію цих атомів [9].
 μ_0

При виготовленні реальних деталей у матеріалі нерівномірно концентрується деяка кількість надлишкової енергії F , зі збільшенням якої зростає ймовірність руйнування деталі P .

Застосовуючи МІО, можна значно зменшити надлишкову енергію матеріалу, пов'язану з концентрацією внутрішніх і поверхневих напружень в конкретній деталі, і знизити до мінімуму ймовірність її поломки.

Для зменшення значення F в матеріалі конкретного інструменту необхідно затратити деяку кількість електромагнітної енергії W_0 , яка може бути визначена з рівняння:

$$W_0 = K_1 \int_V \left(K_2 \frac{m dm}{V_m} \frac{d\phi^n}{d\phi} + \frac{1}{2} \mu_0 M^2 \right) dV, \quad (2)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує вплив концентрацій поверхневих і внутрішніх напружень на стійкість інструменту: коефіцієнт пов'язаний з конструюванням і технологією виготовлення деталі. Для сталених деталей $K_1 = 1,5 \dots 2,5$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії при МІО деталі.

$K_2=3,0\dots5,5$ для установки МІУРІ [64];

Φ – функція, що відображає фізико-механічні властивості матеріалу;

n – показник, що враховує надійність деталі. Для сталених деталей, працюючих при статистичних навантаженнях, $n=2$.

Енергія магнітного поля, що розвивається соленоїдами магнітно-імпульсних установок, визначається:

$$W = K_2 \cdot B \cdot H \cdot V, \quad (3)$$

де K_2 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії при МІО;

B – магнітна індукція в соленоїді, Тл;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

V – об'єм простору, де концентрується магнітне поле, м³.

При МІО за час імпульсу в соленоїді установки виділяється енергія W_0 магнітного поля, яка розподіляється в основному наступним чином:

$$W_0 = K_{нв} \cdot W_1 + W_2, \quad (4)$$

де $K_{нв}$ – коефіцієнт неврахованих втрат енергії, що залежить від взаємодії поля деталі з полем соленоїда;

W_1 – енергія, що витрачається на намагнічування деталі, Дж;

W_2 – енергія, що витрачається на локальний нагрів деталі, Дж.

Енергія W_1 , що витрачається на намагнічування деталі, пропорційна величині намагніченості M і залежить від властивостей матеріалу:

$$W_1 = K_3 \cdot V, \quad (5)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує електромагнітні властивості матеріалу.

Для кожної сталі існує певна величина напруженості імпульсного магнітного поля, а отже, і величина магнітної енергії W_1 , яка поглинається матеріалом протягом часу обробки t і максимально покращує його механічні та технологічні властивості. Причому між підвищенням стійкості деталі і магнітною проникністю існує кореляційна залежність. Імпульсне магнітне поле, взаємодіючи з матеріалом деталі, змінює її теплові та електромагнітні властивості, покращує структуру і експлуатаційні характеристики, що покладено в основу технології магнітного зміцнення.

При магнітній обробці деталі внаслідок неоднорідної кристалічної структури в ній виникають вихрові струми. Вихрові струми обумовлюють магнітне поле і локальні мікрівітри, які в свою чергу, нагрівають ділянки навколо кристалітів напружених блоків і неоднорідностей структури металу. У місцях концентрації залишкових або втомних напруг, пов'язаних з технологією виробництва, обробки або експлуатації деталі теплота, наведена при МІО вихровими струмами, частково зменшує надлишкову енергію складових кристалітів і зерен структури зразка особливо в зоні контакту напружених ділянок.

Одночасно з тепловими процесами за рахунок імпульсного магнітного поля в металі відбувається полярна орієнтація спінів електронів атомів, розташованих в області контакту кристалітів і зерен сплавів, внаслідок чого поліпшуються механічні властивості матеріалу.

Для завершення внутрішніх процесів, пов'язаних з розсіюванням електромагнітної енергії в матеріалі деталі необхідний час T , який змінюється від 5 до 24 годин.

Час витримки інструменту зі швидкорізальної сталі після МІО в спокійному стані визначається по емпіричному рівнянню:

$$T = \frac{K \cdot d}{H \cdot l} \cdot \frac{K_m}{K_\phi} \cdot \frac{m}{V_m}, \quad (6)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу інструменту;

m – маса інструменту, грам.;

H – напруженість поля соленоїда установки, кА/м;

V_m – об'єм металу інструменту, см³;

d/l – відношення діаметру інструмента до його довжини;

K_m/K_ϕ – відношення магнітної проникності матеріалу інструменту до магнітної проникності фериту.

У світлі розглянутих вище уявлень про фізичну сутність процесу магнітної обробки деталей можна зробити висновок, що МІО являє собою комплексний вплив на матеріал магнітострикційних процесів і механічних деформацій, теплових і електромагнітних вихрових потоків, локалізованих в місцях концентрацій магнітного потоку, а також систему процесів, направлено орієнтуючих «спін-характеристики» зовнішніх електронів атомів металів прикордонної зони контакту зерен. В цілому МІО передбачає

поєднання електромагнітного і термодинамічного способів управління не рівноважною структурою речовини.

Одним з недоліків МІО є такі фактори, як слабкий вплив на матеріали, що мають попередньо поліпшену фізичну структуру і технологічну стабільність, пов'язану з процесом виготовлення деталі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Онищенко С.В., Колосов Д.Л. (Україна, м. Дніпро, НТУ «ДП»)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГОЛОВНОГО ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА ЗА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ШАХТНИХ СТОВБУРАХ З ПОРУШЕНОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ

Розроблено методику розрахунку плоского гумотросового каната з урахуванням впливу його позацентрового розтягу та пошкодження тросової основи. Розроблено технічні вимоги до конструкції плоских гумотросових канатів та норми їхнього відбраковування для випадку використання у стовбурах з відхиленнями напрямних від проектного стану.

A method for calculating a flat rubber-cable rope considering an effect of its eccentric elongation and cable base breakage is developed. Technical requirements for a structure of a flat rubber-cable ropes and norms of their rejection for a case of use in shafts with guide deflections are developed.

Постановка задачі дослідження. Гумотросові канати виготовляють з окремих паралельно укладених та запресованих в гумову оболонку тросів. Їх використовують в підйомних машинах. Внаслідок зносу обладнання напрямні підйомної установки можуть викривлятися, троси руйнуватися – розриватися. Викривлення напрямних призводить до позацентрового розтягнення троса. Встановлення основних експлуатаційних параметрів напружено-деформованого стану плоского гумотросового каната виконано в роботах [1-4], проте задачу розробки методики розрахунку плоского гумотросового каната з урахуванням впливу його позацентрового розтягу та пошкодження тросової основи для випадку використання у стовбурах з відхиленнями напрямних від проектного стану, розв'язано не було.

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку плоского гумотросового каната з урахуванням впливу його позацентрового розтягу та пошкодження тросової основи за умови експлуатації у стовбурах з порушеною геометрією. Методика призначена для визначення втрати міцності каната, зумовленої вказаними чинниками.

У випадку відсутності викривлень каната, розривів його тросів, сила розтягу каната практично рівномірно розподілена поміж усіма його тросами. Зсув вектора навантаження каната на величину Δ в його площині призводить до змінного вздовж каната (осі x) наступного розподілу сил розтягу його тросів з розмірами $1 \leq i \leq M$ [1]

$$p_i = E F \cos \frac{x}{e} \frac{i}{M}, \quad (1)$$

$$\begin{array}{c}
 \square e \\
 L \square \\
 e \square \square
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 L \square \\
 2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 (\\
 \square \\
 L \square W^M
 \end{array}
 \begin{array}{c}
) \\
 \square
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
& \text{де } L - \text{довжина каната; } \sqrt{-\frac{b}{2a} + \sqrt{\left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{c}{a}}}; \\
& \cos \frac{M}{M_1} \cos \frac{M}{M_1 t} G \frac{b}{d t} \\
& W = \frac{2 E I_2 M_1^2 G \frac{b}{d}}{t^2}; \quad a = 4 E^2 F I t^2 \cos \frac{M}{M_1}; \\
& p = G b \frac{M}{E} F \cos \frac{M}{M} d t^2 + 4 I \frac{M_1}{M} \frac{M}{M_1} \\
& c = G^2 d t^2 \cos \frac{M}{M_1} + 2 \cos \frac{M}{M_1} \cos \frac{M}{M_1}
\end{aligned}$$

b – товщина каната; d – діаметр троса; t – відстань поміж тросами, F – площа перерізу троса; E – приведений модуль пружності матеріалу троса; G – модуль зсуву гуми; I – момент інерції перерізу троса.

Залежність (1) дозволяє встановити навантаження будь-якого троса на відстані x від перерізу підвішування (барабана), відповідно визначити розподіли коефіцієнтів концентрації напружень вздовж тросів

$$\begin{aligned}
& e^{\frac{x}{e}} \cos \frac{i}{e} \\
& K_{\text{sign},i} = \frac{E F M}{P} \frac{M_1}{M} \frac{L x}{L} \\
& 1, \\
& P \quad \frac{L}{2} \quad L \quad W \quad P
\end{aligned} \tag{2}$$

де e – питома маса каната; P – розрахункове навантаження.

Без урахування маси каната, найбільше навантажений крайній трос в перерізі $x = L$. Коефіцієнт концентрації напружень в цьому випадку визначається залежністю

$$\begin{aligned}
& K_{\text{sign},\text{max}} = \frac{E F M}{P} \frac{L}{e} \cos \frac{M}{M} \\
& P \quad \frac{L}{2} \quad L \quad W
\end{aligned}$$

В процесі експлуатації можливий розрив будь-якого троса, в будь-

якому перерізі. Будемо вважати, що ушкоджено деякий трос, що має номер Θ . Розрив розташовано на відстані l до місця приєднання – барабана. Для визначення коефіцієнта концентрації напружень, зумовленого розривом троса, визначаємо наступні коефіцієнти

$$U_0 = \frac{M K_{\text{зигн.}}}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{M_1}{\left(1 - l e^{2\pi m}\right) \left(1 - e^{2\pi m}\right)} \frac{\cos \pi m \cos \pi m}{e^{2\pi m l} + e^{2\pi m L l}}}, \quad (3)$$

$$A = \frac{U_0 \cos \alpha_m}{0,5 m} e^{m l}, B = A e^{2 m l}.$$

За формулами

$$K_{\text{зигн.}1} = \frac{M}{m} \left(A e^{m l} + B e^{-m l} \right) \cos \alpha_m, 1,5 m,$$

$$K_{\text{зигн.}2} = \frac{A}{m} e^{m l} + \frac{B}{m} e^{-m l} \cos \alpha_m, 0,5 m$$

визначити коефіцієнти концентрації напружень в тросах, суміжних з ушкодженим. Більше значення і буде шуканим максимальним коефіцієнтом концентрації напружень в зігнутому канаті з ушкодженим тросом.

У разі наявності декількох розривів треба перевірити можливість вважати, що взаємний вплив двох ближніх поміж собою розривів тросів відсутній. Умова перевірки полягає в тому, що відстань поміж перерізами

ушкоджень тросів має не бути меншою за величину $5 \sqrt{\frac{h E F}{2 G b}}$, або поміж

ушкодженими тросами є сім неушкоджених.

Виконані вище та попередні [2, 3] дослідження дозволяють сформулювати технічні вимоги до конструкції плоских гумотросових канатів та норми їхнього відбраковування.

Загальна конструкція плоского гумотросового каната (парна кількість тросів, почергове розташування тросів протилежного напрямку закручування, конструкція тросів, матеріали покриття дроту, з якого виготовляють троси каната, діаметри тросів, крок їхнього розташування в канаті, гумові суміші, товщини обкладинок) має відповідати розробленому ряду конструктивних параметрів (табл. 1). Вищевказане зумовлено доцільністю уніфікації конструкцій канатів, технологій та обладнання для їхнього виготовлення. Канат та троси в ньому мають бути суцільними.

Мінімальна та максимальна кількість тросів в канаті мають визначатися відповідно до технічних пропозицій щодо реконструкції шахтних підйомних установок під використання гумотросових канатів [4].

Кінці тросів каната мають бути вкриті шаром гумової суміші з наступною їхньою вулканізацією. Товщина шару гуми не повинна відрізнятися від товщини обкладинки. Розміри утворених бортів каната

мають відповідати розмірам бортів, передбачених конструкцією базового каната.

Канат до барабану має бути приєднаним не менш ніж трьома планками притискання, рівномірно розташованими по колу барабана. Сила притискання має перевищувати добуток коефіцієнту тертя та максимальної.

Таблиця 1 – Геометричні та міцнісні параметри ГТК

Умовні позначення каната	Розрахункова маса 1 м каната, кг	Число тросів, шт	Діаметр троса, мм	Розміри поперечного перерізу, мм				Розрахункове розривне зусилля, кН	
				Ширина В, мм	Товщина Н, мм	b ₁ , мм	h ₁ , мм	сталевго каната в цілому Р _{тп} , кН	ГТК в цілому Р _к , кН
ГТК-1-0,5-30x10/4x3,1	0,5	4	3,1	30	10	3	3,45	6,78	25,76
ГТК-1-0,75-40x10/6x3,1	0,75	6	3,1	40	10	3	3,45	6,78	38,65
ГТК-1-1,0-52x10/8x3,1	1,0	8	3,1	52	10	3	3,45	6,78	51,53
ГТК-1-1,25-65x10/10x3,1	1,25	10	3,1	65	10	3	3,45	6,78	64,41
ГТК-1-0,5-30x10/2x4,2	0,5	2	4,2	30	10	5	2,9	15,68	29,79
ГТК-1-0,6-38,5x10/2x4,2	0,6	2	4,2	38,5	10	5	2,9	15,68	29,79
ГТК-1-0,75-41x10/4x4,2	0,75	4	4,2	41	10	5	2,9	15,68	59,58
ГТК-1-1,0-52x10/6x4,2	1,0	6	4,2	52	10	5	2,9	15,68	89,38
ГТК-1-1,25-72x10/6x4,2	1,25	6	4,2	72	10	5	2,9	15,68	89,38
ГТК-1-1,5-82x10/8x4,2	1,5	8	4,2	82	10	5	2,9	15,68	119,17
ГТК-1-1,75-93x10/10x4,2	1,75	10	4,2	93	10	5	2,9	15,68	148,96
ГТК-1-2,0-103x10/12x4,2	2,0	12	4,2	103	10	5	2,9	15,68	178,75
ГТК-1-3,4-94x18/6x8,25	3,4	6	8,25	94	18	10	4,875	50,96	290,47
ГТК-1-7,0-142x22/6x12,0	7,0	6	12,0	142	22	10	5	104,7	596,8
ГТК-1-8,4-190x22/6x12,0	8,4	6	12,0	190	22	10	5	104,7	596,8
ГТК-1-10,5-154x32,5/6x14	10,5	6	14,0	154	32,5	10	9,25	141,8	808,26
ГТК-1-15,0-228x28/10x14	15,0	10	14,0	228	28	10	7	141,8	1347,1
ГТК-1-15,5-228x30/10x14	15,5	10	14,0	228	30	10	8	141,8	1347,1
ГТК-1-16,0-228x31/10x14	16,0	10	14,0	228	31	10	8,5	141,8	1347,1
ГТК-1-16,8-228x34/10x14	16,8	10	14,0	228	34	10	10	141,8	1347,1
ГТК-1-20,0-250x34/10x16	20	10	16,0	250	34	10	9	181,2	1721,4

вантажопідйомності машини [4]. Планки можуть бути притиснуті болтами. Канат до корисного вантажу має бути приєднаний таким чином, щоб радіус згину каната не був меншим за тридцять діаметрів каната.

У випадку використання каната у стовбурі з відхиленнями його напрямних від проектного стану, треба враховувати (зменшувати) допустиме навантаження обернено пропорційно величині коефіцієнта концентрації напружень

$$K_{\text{зигн. max}} = \frac{E F M e^{\frac{L}{2L}} e^{\frac{L}{2L}} \cos \frac{M}{M}}{P e^{\frac{L}{2L}} e^{\frac{L}{2L}} L 2 L W} 1,$$

де M – кількість тросів в перерізі набігання каната на барабан за зсуву посудини в напрямних на величину Δ .

У разі ушкодження тороса, що має номер Θ , допустиме навантаження має бути зменшене обернено пропорційно більшому з нижче визначених двох коефіцієнтів

$$K_{\text{зигн. } \Theta 1} = \frac{M}{m} \left(A_m e^{m l} + B_m e^{m l} \right) m \cos \frac{m}{m} 1,5 \frac{m}{m};$$

$$K_{\text{зигн. } \Theta 2} = \frac{m}{m} A B_m e^{m l} m \cos \frac{m}{m} 0,5 \frac{m}{m},$$

де

$$A = \frac{U_0 \cos \frac{m}{m} m}{0,5 \frac{m}{m}} , B = A e^{2 m l},$$

$$U_0 = \frac{M K_{\text{зигн. } \Theta}}{M_1 1 \left(e^{2 m l} \right) \left(1 e^{2 m L} \right) l}$$

$$0,5 \frac{m}{m}^2$$

$$m \frac{1}{m}$$

У разі наявності декількох розривів, треба перевірити можливість вважати, що взаємний вплив двох ближніх поміж собою розривів тросів, відсутній. Умова перевірки полягає в тому, що відстань поміж перерізами

ушкоджень тросів має не бути меншою за величину $5 \sqrt{\frac{h E F}{2 G b}}$, або поміж ушкодженими тросами є сім неушкоджених.

У разі невиконання умов відносно значень допустимих навантажень, канати мають бути відбракованими.

Висновки. Для забезпечення працездатності канатів та підвищення рівня ефективності використання й експлуатаційної безпеки сучасних

шахтних підйомних установок з головними гумотросовими канатами, у роботі розроблено методику розрахунку плоского гумотросового каната з урахуванням впливу його позacentрового розтягнення та пошкодження тросової основи і технічні вимоги до конструкції плоских гумотросових канатів та норми їхнього відбраковування для випадку використання у стовбурах з відхиленнями напрямних від проектного стану.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Наукове обґрунтування технічних рішень із забезпечення енергоефективності та експлуатаційної безпеки сучасних шахтних підйомно-транспортних комплексів: звіт з НДР (проміжний). Науковий керівник В.І. Самуся / Державний ВНЗ «НГУ». – № ДР 0115U002298 – 2015. – 165 с.*
2. *Розвиток теоретичних основ створення та оптимізації параметрів сучасного гірничого обладнання для підводного видобутку корисних копалин: звіт з НДР (заключний). Науковий керівник Д.Л. Колосов / Державний ВНЗ «НГУ». – № ДР 0112U000871 – 2014. – 276 с/*
3. *Розвиток теоретичних основ створення та оптимізації параметрів сучасного гірничого обладнання для підводного видобутку корисних копалин: звіт з НДР (проміжний). Науковий керівник С.Є. Блохін / Державний ВНЗ «НГУ». – № ДР 0112U000871 – 2012. – 174 с.*
4. *Колосов Д.Л. Розвиток теорії шахтних підйомних установок з головними гумотросовими канатами / Д.Л. Колосов. – Дис...докт. техн. наук: 05.05.06. – Д.: 2015. – 471 с.*

Palaguta O.V. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

METHOD OF STRENGTHENING WORK SURFACES OF MACHINE PARTS.

The article considers the method of strengthening the working surfaces of machine parts. Namely electroplating, an electrochemical method of applying protective coatings on the working surfaces of parts. The proposed method can significantly increase the wear resistance of the surface layer and improve the operational reliability of machine parts.

The performance of machines depends on the wear resistance of parts. It is now established that 70% of machine failures depend on the wear of parts, so strengthening their work surface plays a special role in ensuring the life of various products.

One of the modern methods of improving the performance of machine parts is the use of electrochemical methods of applying protective coatings on the working surfaces of parts. Namely, electroplating, which is an electrochemical method by applying metal coatings on electrically conductive material to give it certain properties: protective anti-corrosion, protective-decorative, decorative. It is used to increase the corrosion resistance of parts made of different materials, as well as their performance and decorative characteristics. With the help of galvanic lines, metal coatings are applied by electrochemical method to products.

The method involves the technological process of galvanic deposition of alumina of the working surface of the part with the simultaneous impact on the part of the vibration of a certain frequency and amplitude. The machined parts will have increased wear resistance of the working surfaces of machine parts.

The method is as follows. There is a process of galvanic deposition of alumina of the working surface of the part with simultaneous exposure to the part vibration with resonant frequency. The essence of the method is that the deposition of alumina on the working surface of the part occurs by means of a galvanic cell in which aluminum is oxidized in the electrolyte. As a result, an aluminum film is formed on the workpiece, which is very thin, 50-100 nm thick, so you should consider only the width and length, because a fairly small thickness will not affect the size tolerance.

The proposed method has the following advantages. The deposition process is carried out without the use of heat treatment and high frequency currents (HDC), while increasing the durability of the part with minimal energy consumption. The deposition process is carried out while simultaneously vibrating the part with a resonant frequency, due to which the connection of the aluminum matrix and the iron matrix will take place, the resulting layer will be homogeneous in area. Thanks to aluminum, the corrosion resistance of the working surface of the part will increase.

REFERENCES

1. *Elektrohimicheskaya obrabotka metallov.* – 1988. – 183 s.
2. Elagina O.YU. *Uchebnoe posobie «Tekhnologicheskie metody povysheniya iznosostojkosti detalej mashin».* Universitetskaya kniga. Logos. – 2009 – 485 s.
3. Bojcov V.B., CHernyavskij A.O. *Tekhnicheskie metody povysheniya prochnosti i dolgovechnosti.* – M.: Mashinostroenie, 2005. – 108 s.
4. Belyj A.V. *Struktura i metody formirovaniya iznosostojkih poverhnostnyh sloev.* – 1991. – 208 s.

Підгорний Н.А., Солнцев О.В., Кузнєцов Ю.М. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ГІБРИДНИХ 3D-ПРИНТЕРІВ МОДУЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМІВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Виконаний аналіз відомих технічних рішень, що застосовуються в компоновці гібридних 3D-принтерів модульної компоновки на основі МПС. Проаналізовані проблеми, які виникають в цій сфері, та вказані можливі шляхи їх вирішення. Запропоновані класифікація і модульний принцип побудови 3D-принтерів з розширеними функціональними можливостями з використанням системно-морфологічного підходу.

The analysis of known technical solutions used in the layout of hybrid 3D-printers modular layout based on MPS. The problems that arise in this area are analyzed, and possible ways to solve them are indicated. The classification and the modular principle of construction of 3D-printers with the expanded functionality with use of the system-morphological approach are offered.

3D-друк або «адитивне виробництво» - процес створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі [4,8]. Він заснований на концепції побудови об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображають контури моделі. Фактично, 3D-друк є повною протилежністю таких традиційних методів, як субтрактивне виробництво, де формування виробу відбувається за рахунок видалення зайвого матеріалу, наприклад, фрезеруванням. Лідером в цьому напрямку згідно патентно-інформаційних досліджень вважається американська корпорація 3D Systems [10], де в 1986р. Чарльз Халл запатентував технологію стереолітографії (патент №4 575 333). Виріб, або «модель», проводиться видавлюванням («екструзією») і нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластика з формуванням послідовних шарів, що застигають відразу після екструдкування.

Актуальність. Сьогодні ми живемо в час 4-ої промислової революції (так званої Industrie 4.0). Усі провідні виробники, компанії намагаються максимально спрощувати виробничі ланцюги, для досягнення максимальної продуктивності та гнучкості. Тому сучасне виробництво орієнтується на синтез науки, виробництва, освіти та сфери надання послуг. Основними рисами цієї орієнтації є:

- Підвищення продуктивності виробництва;
- Зменшення участі людини у виробництві (автоматизація виробництва);
- Підвищення якості надаваної продукції;

- Збільшення технологічності процесів зі зменшення складності та місткості обладнання, що потрібне;
- Зменшення витрат на виробництво, логістику.

Тому налагодження нового продуктивного виробництва вимагає нових підходів до нього. Потрібно враховувати нові фактори та виклики при підборі технології, технологічних процесів та обладнання. Також окрім вже звичайних вимог, таких як продуктивність, якість, безпека, потрібно враховувати і нові, притаманні 4-тій промисловій революції «Індустрія 4.0», а саме: екологічність, енергоефективність та заощадливість (зменшення металоємкості тощо). Саме ці вимоги, що не притаманні виробництву XX-го століття, потребують пошуку нових рішень.

Саме поява та розвиток багатофункціональних 3D-принтерів може вирішити та вже вирішує поставлені завдання та вимоги.

Адже технології 3D-друку використовуються у багатьох сферах: для прототипування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промисловому дизайні, автомобільної, аерокосмічної, військово-промислової, інженерної та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві модного одягу і взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчової промисловості та багатьох інших сферах. І з кожним роком сфера їх застосування тільки росте, що можна наглядно побачити з графіка відомого статистичного інтернет-порталу «Statista» (рис.1).

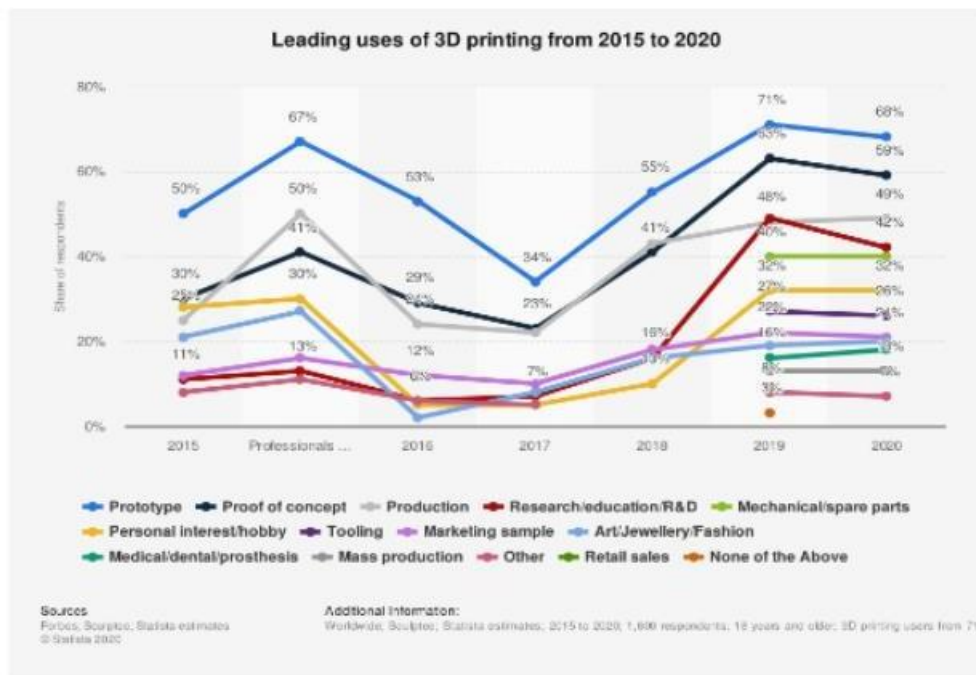


Рисунок 1 – Еволюція використання 3D-друку в різних сферах з 2015 по 2020р. (Statista 2020)

Метою даної роботи є розбір та аналіз відомих компоновок гібридних 3D-принтерів модульної компоновки, створених на основі механізмів паралельної структури (МПС). Робота покликана показати підходи створення нового обладнання, враховуючи нові вимоги, які диктують «Індустрія 4.0» і «Індустрія 5.0», що наближається. До мети також відноситься підвищення техніко-економічних показників і розширення функціональних можливостей малогабаритних інтелектуальних 3D-принтерів з комп'ютерним керуванням за рахунок синтезу нових конструкцій. Для досягнення поставленої мети: виконаний аналіз відомих компоновок і конструкцій 3D – принтерів[12], їх кінематичних схем, типів, методів синтезу нових конструкцій.

Наступні дослідження покликані сформулювати підходи та процеси проектування технологічного обладнання з врахуванням сучасних вимог на прикладі використання адитивних технологій [4,7], каркасних конструкцій несучих систем [6] при суттєвому підвищенні швидкості переміщення робочих органів (РО), зокрема, за рахунок МПС [3,5,6] і застосуванні модульного принципу [1,2], який дозволяє зменшити час та витрати на проектування, складання і переналагодження. Адже основною проблемою на даний час 3D-друку являється час та мала продуктивність. Ця проблема виникає через малі швидкості робочого органу 3D-принтерів. Розробка ж 3D-принтерів з МПС у значній мірі вирішує цю проблему. Приводи переміщень в МПС знаходяться на нерухомій системі, що дозволяє зменшити інерційні сили механізму та збільшити величини прискорень. Також обладнання з МПС потребує меншу кількість матеріалу для виготовлення (менша металоємкість), причому робочий об'єм залишається на рівні з іншими компоновками принтерів.

В основу проектування 3D-принтера на базі триглайду (рис.2, а,б) або тетраглайду (рис.2, г) покладено модульний принцип [1], тобто деякі деталі та вузли є уніфікованими і стандартними, а деякі потребують виготовлення. Для усунення можливості похибок при складанні 3D-принтера слід спроектувати кожний вузол окремо. Але потрібно враховувати усі кінематичні зв'язки та пари.



Рисунок 2 – Компоновки на основі механізмів паралельної структури типу «триглайд» або тетраглайд

Також 3D-принтери на основі МПС (наприклад типу «триглайд») можуть виступати, як пристрої 3D-сканування. Технології 3D-сканування об'єктів в просторі являються сьогодні дуже перспективною та прогресуючою сферою. Ці пристрої все частіше застосовуються у все більшій кількості сфер людського життя. Для побудови об'ємної моделі можна використовувати різні методи, наприклад використовуючи САД-програми, але саме 3D-сканери полегшують та прискорюють цей процес.

Для створення пристроїв 3D-сканування може бути використано багато різноманітних технік [2,3,5-7]; кожна технологія має свої особливості, обмеження і вимагає різних витрат. Більшість обмежень стосуються видів об'єктів, які можуть бути оцифровані, які досі не вирішені до кінця. Наприклад, більшість оптичних технологій матиме складнощі з обробкою блискучих, дзеркальних або прозорих об'єктів, а промислова комп'ютерна томографія може використовуватись для побудови цифрових 3D-моделей, застосовуючи неруйнівний контроль. Моделі, виготовлені адитивним методом, можуть застосовуватися на будь-якому виробничому етапі, як для виготовлення дослідних зразків (швидке прототипування), так і в якості самих готових виробів (швидке виробництво).

Однією з основних проблем сучасних 3D-принтерів являються матеріали, а саме їх не спроможність використовувати увесь спектр доступних матеріалів, адже існує їх сьогодні безліч, а деякі по своїм характеристикам впритул наблизилися до металів, сталей. Одним з таких матеріалів (пластиків) є РЕЕК. Його характеристики впритул наблизилися до характеристик деяких сталей. А усього існує величезна кількість різних пластиків для друку, наприклад: PETG, ABS, PLA, NYLON та безліч інших.

Іншою серйозною проблемою є якість поверхні деталі після виготовлення. Майже всі отримані деталі потрібно піддавати постобробці.

Аналізуючи історичний розвиток такої складної технічної системи як верстат, гарним рішенням вищезазначених проблем є розширення можливостей сучасних 3D-принтерів, шляхом забезпечення автоматичної заміни інструментів, аналогічно верстату, але з урахуванням вимог до швидкості та методів друку. Таким чином це призвело до створенням 3D-принтерів з вбудованою системою заміни інструменту та системою механічної обробки. А саме з інтеграцією усіх модулів, таких, як: модулі стандартного друку (сопла 0.1-0.8 мм), модулі для друку композитними матеріалами (з абразивними тугоплавкими соплами і прямими екструдерами), модулі для високопродуктивного друку (сопла до 2.5 мм), модулі для друку гранульованим пластиком та високошвидкісні шпинделі для обробки виготовлених деталей.

Така система у поєднанні з 3D-принтером здатна забезпечити продуктивнішу роботу з великою кількістю існуючих матеріалів та комбінувати різні процеси (адитивний та субтрактивний).

Як видно адитивне виробництво стрімкими темпами рухається вперед і все більше різних конструкцій і прикладів 3D-принтерів ми можемо побачити на ринку світу. Дослідження в цій сфері ведуться ударними темпами, створюються нові матеріали та компоновки. Методи друку удосконалюються, а до послуг адитивного виробництва звертається все більше компаній. Багато молодих та перспективних інженерів звертають свою увагу на цю нішу.

В результаті подальших досліджень можуть бути створені для сучасного виробництва вітчизняні конкурентоспроможні моделі 3D-принтерів, в тому числі мультифункціональних. Тому, даний напрямок досліджень є актуальним і необхідним для розвитку машинобудування не тільки в Україні, але і за її межами. Хорошим прикладом цього є український стартап SmartZavod (рис.3), що займається розробкою багатофункціонального промислового 3D-принтера, участь в технологічному процесі якого людина брати не буде. Більше того, завдяки новій системі зміни інструменту, принтер не лише створює деталі, а може і обробляти їх [9].

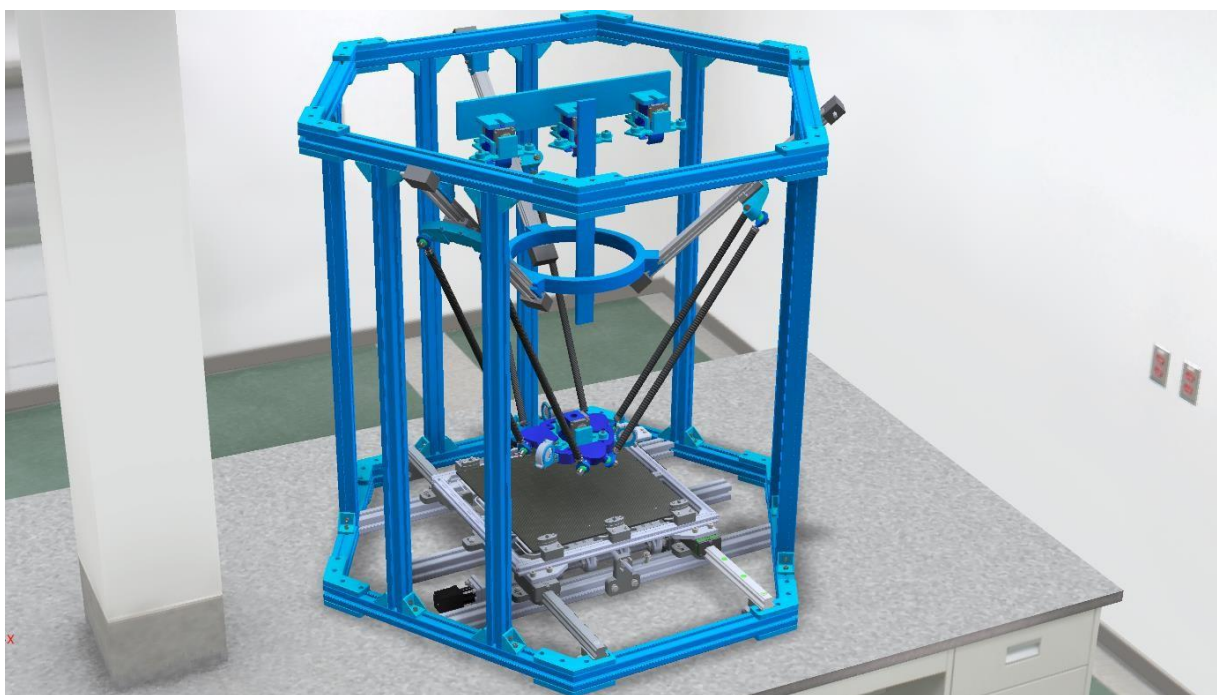


Рисунок 3 – Концепт повністю автоматизованого гібридного 3D-принтера модульної компоновки на основі механізмів паралельної структури SmartZavod SEH1 (деталізація вузлів та різних інструментів прихована з міркувань зберігання комерційної таємниці)

Висновок. Виконаний аналіз відомих технічних рішень, що застосовуються в компоновці гібридних 3D-принтерів модульної компоновки на основі МПС. Проаналізовані проблеми, які виникають в цій сфері, та вказані можливі шляхи їх вирішення. Запропоновані класифікація і модульний принцип побудови 3D-принтерів з розширеними функціональними можливостями з використанням системно-морфологічного підходу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Агрегатно-модульне технологічне обладнання.* / [Під ред. Ю.М.Кузнєцова] – Кіровоград: Імекс ЛТД, 2004. – Ч.1 - 442 с., Ч.2-286 с.
2. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Під ред. Ю. М.Кузнєцова. — Кіровоград, 2004. — 449с.
3. Солнцев О.В., Кузнєцов Ю.М. Створення 3D-принтера на базі триглайда з використанням методу морфологічного аналізу // Збірник тез наукових доповідей II Всеукраїнської інтернет-конференції м. Сєвєродонецьк, 27-28квітня 2017 р. — 172 с.
4. Charles Bell. 3D Printing with Delta Printers – Apress, 2015
5. SmartZavod Tackles Fully Automated Multimaterial Manufacturing. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.fabbaloo.com/news/smartzavod-tackles-fully-automated-multimaterial-manufacturing>
6. 3D Systems Press Release (1998) Thermolet. 3D Systems. Worldwide Corporation HQ, 26081 Avenue Hall, Valencia, California, USA.

Piddubny S.A. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

NEURO-NETWORK OPTIMIZATION OF 3D-COMPOSITION OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS.

On the basis of a spatial-functional analysis of a variety of options for production systems, a model for finding optimal layout solutions in terms of the reduced power criterion is proposed. The proposed approach is implemented based on the creation of neural network models with a qualitative assessment of the layout factors.

One of the effective ways to increase labor productivity in the aviation and engineering industries is the automation of production processes based on the use of flexible production systems (FPS) built on the basis of multi-purpose machine tools with numerical control (CNC). The creation (synthesis) of the HPS layout is carried out at an early design stage after studying the design and technological requirements for the manufacture of body parts, the basic technological process, determining the production program and economic efficiency indicators. This design stage is the most critical, since the success of the project as a whole largely depends on the correct choice of the FMS layout [1-5].

Traditional layouts of production sites are based on the principle of accessibility of service personnel and workers to technological machines in order to ensure production and repair cycles.

With the development of production automation and with the increase in the cost of workshop space, which is part of the cost of production, the optimization of layout solutions for flexible production systems is an urgent task.

Optimization of layout solutions is a task of decomposition of the elements of the production system, taking into account the capabilities of these elements and limitations.

To describe opportunities and limitations, it is advisable to use a systematic approach, where these elements, opportunities and limitations would be presented in a single model. A formal description of the initial data for system modeling is proposed in the following form:

- ☐ Technological Equipment TE;
- ☐ auxiliary equipment (Auxiliary Equipment) -AE;
- ☐ transport system (Ferry System) -FS;
- ☐ storage system (Storage Systems) - SS.

Spatial layout solutions are elements of a three-dimensional (x, y, z) coordinate system, of which two are mandatory, layout options can have such solutions:

TE_{xy}; TE_{xz}; TE_{yz}.

Similarly:

AE_{xy}; AE_{xz}; AE_{yz};

FSxy; fsxz; FSyz;
SSxy; SSxz; SSyz.

The optimal layout is a solution described by a set obtained as a result of the following actions:

$$\begin{aligned} & \begin{vmatrix} Txy_1 & Txy_2 \cdots & Txy_n \\ Txz_1 & Txz_2 \cdots & Txz_n \\ Tyz_1 & Tyz_2 \cdots & Tyz_n \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} AExy_1 & AExy_2 \cdots & AExy_n \\ AExz_1 & AExz_2 \cdots & AExz_n \\ AEyz_1 & AEyz_2 \cdots & AEyz_n \end{vmatrix} \\ & \times \begin{vmatrix} FSxy_1 & FSxy_2 \cdots & FSxy_{3n} \\ FSxz_1 & FSxz_2 \cdots & FSxz_{3n} \\ FSyz_1 & FSyz_2 \cdots & FSyz_{3n} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} SSxy_1 & SSxy_2 \cdots & SSxy_{3n} \\ SSxz_1 & SSxz_2 \cdots & SSxz_{3n} \\ SSyz_1 & SSyz_2 \cdots & SSyz_{3n} \end{vmatrix} \\ & = M, \end{aligned}$$

Where M is the set of solutions satisfying condition R.

As an enlarged criterion, the criterion of energy costs can be taken (for a period of time t, this can be work A or power N of the system. The power N / n referred to the unit of output, where n is the volume of output in quantitative or value terms, can be taken as the objective function F.

For neural network modeling, Hop-field networks should be used, giving each element of the system a qualitative sign of the presence or absence of an element, denoting the presence as 1, and the absence of an element in the system as 0. Taking the constraint $n = n_0$, the perspective layout of the flexible production system is determined in the space x,y,z of equal dimension.

REFERENCES

1. K.S. Kul'ga, A.A. Karyugin, A.YU. Golovicin, R.R. Muhametzyanov, V.R. Rahmatullin, D.A. Nikolaev, E.P. Elepina, A.A. Gaitova *Primenenie CAD/CAE-sistem dlya proektirovaniya komponentov gibkikh proizvodstvennykh sistem dlya mekhanooobrabotki korpusnykh detalej // Mashinostroyeniye i smezhnyye otrasli*. – M., 2014. – №90. – S.51-62.
2. Rahmatullin R.R, Serdyuk A.I., CHernousova A.M., SHamaev S.YU. *Prakticheskie raschety gibkikh proizvodstvennykh yacheek. Modeli, algoritmy, prilozheniya* – Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2010. – 237 s.
3. Vragov YU.D. *Analiz komponentov metallorazhreshchih stankov: Osnovy kompozitov*. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 208 s.
4. Kul'ga K.S. *Primenenie CAD/CAE-sistem dlya staticheskogo issledovaniya komponentov mekhatronnogo stanochnogo oborudovaniya // CAD/CAM/CAE Observer*, 2014. – №2. – S. 61–67.
5. ZHurvayev N.P., Malikov O.B. *Transportno-gruzovye sistemy: CHast' 1*. – M.: UMNC, 2005. – 223 s.

Pleshan V.Yu. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

PRINCIPLES OF CREATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE NEW GENERATION.

The work is aimed at creating a new generation of machine tools with mechanisms of a parallel structure, and is based on the use of advanced information technologies and intelligent computer systems.

The goal of modern mechanical engineering is to manufacture high quality products at minimal cost, with a constant increase in the complexity of the geometric shapes of parts and their accuracy, with high requirements for mating surfaces and their properties, product performance and operating conditions [1, 2].

The purpose of the work is to formulate the basic principles of the proposed concept of creating new generation machine tools based on the mechanisms of a parallel structure (MPS) of a modular layout.

Relevance of the topic. Currently, technical studies based on the mechanisms of the parallel structure are being developed. Their part includes machines - bipod, tripod, pentapod, hexapod, "scissors". Their feature is the mechanism, which is two platforms connected by a movable telescopic rod. This mechanism has:

- ☐ high positioning accuracy of the working body;
- ☐ high speeds of movement;
- ☐ relatively low maintenance and repair costs;
- higher reliability;
- ☐ a high degree of unification of mechatronic units, which ensures the manufacturability of the machine and its constructive flexibility.

The authors of works [2, 4, 8] point to the evolutionary component to create new mechanisms of the parallel structure. At the same time, solutions are needed to combine or bring together the technological layout of the machine, which is determined by the composition of technological transitions and their combination in time with the design layout, depending on the set of modules and their location [5, 6, 7].

In particular, machine tools with parallel kinematics are a promising alternative to traditional metalworking equipment [3, 4]. Spatial MPS on rods of variable or constant length make it possible to provide the executive body (AO)

with up to 6 degrees of freedom with an unchanged structure of the mechanism, perform accelerated linear movements with simultaneous orientation relative to the processing object, allow the AO of the machine to perform delicate and precise manipulations with the processing object. The capabilities of technological equipment with MPS are too wide, they can perform almost all types of work related to the processing, assembly, testing and control of products. Machine tools with MPS are able to replace bulky machining complexes for medium and small parts, and in some cases completely replace traditional layout machines due to their versatility [3, 4, 8-10].

They highlight the main advantages of the parallel structure mechanisms [10]:

- have smaller masses;
- ☐ have increased rigidity;
- ☐ implement simultaneously (in parallel) the transfer of energy from the leading link to the driven link by several kinematic chains and mechanisms;
- ☐ provide rational distribution of movements and loads between several kinematic chains;
- ☐ form a closed spatial contour of increased rigidity;
- ☐ built on the basis of non-cantilever structures.

Thus, the process of optimal design of a machine tool as a technical system is complex, multi-level, multi-criteria, multi-extremal and in a multiply connected area, starting from an idea (operation principle) and ending with a technical solution in the form of a materialized structure [7, 8].

Their feature is:

- ☐ use of frame structures of load-bearing systems;
- ☐ aggregate-modular layout principle;
- ☐ use of intellectual technical and computer systems.

The creation of mechanisms for a parallel structure determines the level of development of production. At the same time, it is necessary to take into account market trends and the evolution of technical systems; technological ones are among the criteria. Taking into account the principles of consistency (expediency) and evolution along with the well-known principles of the theory of inventive problem solving [11] allows us to state that the technological processing of parallel kinematics mechanisms is a good alternative to the current approach to equipping the competitiveness of production.

REFERENCES

1. *Aver'yanov O.I. Modul'nyj princip postroeniya stankov s CHPU / O.I. Aver'-yanov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 232 s.*

2. Agregatno-modul'ne tekhnologichne obladnannya: navch. posibnik dlya VNZ. U 3-h chast. / Pid red. YU.M. Kuznecova. – Kirovograd, 2003. – S. 56–77.
3. Afonin V.L. Obrabatyvayushchee oborudovanie na osnove mekhanizmov paralle-l'noj struktury / V.L. Afonin, P.V. Podzorov, V.V. Slepcev; pod obshch. red. V.L. Afo-nina. – M.: Izd-vo MGTU STANKIN, 2006. – 452 s.
4. Kuznecov YU.N. Komponenty stankov s mekhanizmami parallel'noj struktury / YU.N. Kuznecov, D.A. Dmitriev, G.E. Dinevich. – Herson: PP Vyshemirskij V.S., 2010. – 471 s.
5. Balashov E.P. Evolyucionnyj sintez sistem / E.P. Balashov. – M.: Radio i svyaz', 1985. – 328 s.
6. Volohonskij A.G. Geneticheskij kod i simmetriya / A.G. Volohonskij // Sim-metriya v prirode. – L., 1971. – S. 75.
7. Polovinkin A.I. Zakony stroeniya i razvitiya tekhniki / A.I. Polovinkin. – Volgograd, 1985. – 202 s.
8. Kuznecov YU.N. Sistemno-morfologicheskij podhod pri sozdanii novyh stan-kov i ih mekhanizmov / YU.N. Kuznecov // Processy mekhanicheskoy obrabotki, stanki i instrumenty: mater. II Mezhdunar. konf., ZHitomir, 9–11 oktyabrya 2003 g. – ZHito-mir, 2003. – S. 114–121.
9. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2450>.
10. <http://tekhnosfera.com/kinematicheskiy-i-silovoy-analiz-ploskih-mehanizmov-parallelnoy-struktury-s-uchetom-osobyh-polozheniy-i-algoritmov-upravl>
11. Al'tshuller G. S. Teoriya i praktika resheniya izobretatel'skih zadach / Pod red. G. Al'tshullera. – Gor'kij, 1976. – 198 s.

Popov A.O. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SURFACE STRENGTHENING OF WORKING SURFACES OF MACHINE PARTS BASED ON PROCESS OF NAKOCH PROCESS.

The article considers the course and results of experimental studies of the process of rolling the working surfaces of machine parts with a roller with a circular profile. The influence of the angle of intersection of the axis of the roller relative to the axis of the workpiece on the quality of the working surface.

The reliability of the machines is directly related to the quality of the surface layer of the parts. Loss of machine parts is usually due to the destruction of the surface layer. The increase in the service life of the parts is possible due to the improvement of the mechanical characteristics of the surface layer, as well as the roughness of the surface itself by means of surface plastic deformation.

Surface plastic deformation is a method of finishing-strengthening treatment without chip removal by deformation of microroughnesses and microdefects of the layers of material adjacent to the surface [1, 2].

To date, there are many methods of PPD - smoothing, vibration smoothing, shot blasting, rolling spherical, cylindrical and circular roller and others. These methods of surface treatment have their advantages: provide quite stringent requirements for roughness, surface hardness, increase the wear resistance of machine parts and resistance to corrosion, reduces the cost of production (saving material resources and energy consumption)

However, for some parts (which have structural or technological voltage concentrators, leaks, fillers, etc.), traditional PPD schemes may not provide more stringent requirements for fatigue strength and durability. Previous studies have shown that in addition to compressive stresses, shear stresses can occur in the surface layer if the roller axis is rotated by a certain angle to the part axis. This reduces the impact of internal stresses and improves the quality of reinforced surfaces [3].

In order to confirm theoretical research, clarify the initial data and expand the results of theoretical analysis in the laboratory of the Department of TM conducted experimental studies of the process of rolling and removal of characteristic parameters of surface quality of machine parts after strengthening the surface layer.

The experiment was performed on the machine 1K625 and consisted in the study of the effect of changes in the working feed and the angle of intersection of the deforming roller on the quality of the working surface.

The experimental equipment (Fig. 1) consists directly of the deforming roller 1, which is installed in the holder 2, which is fixed in the tool holder (Fig. 1, b). The roller has the ability to scroll in the holder at a certain angle γ and is pressed against the surface of the shaft 3 by a spring 4, which was pre-tared. Shaft 3, made of steel 40HN, is fixed in the chuck 5 of the machine and pressed by the rear headstock (not shown in the diagram). The force with which the roller is pressed against the surface of the workpiece is 100 kg.

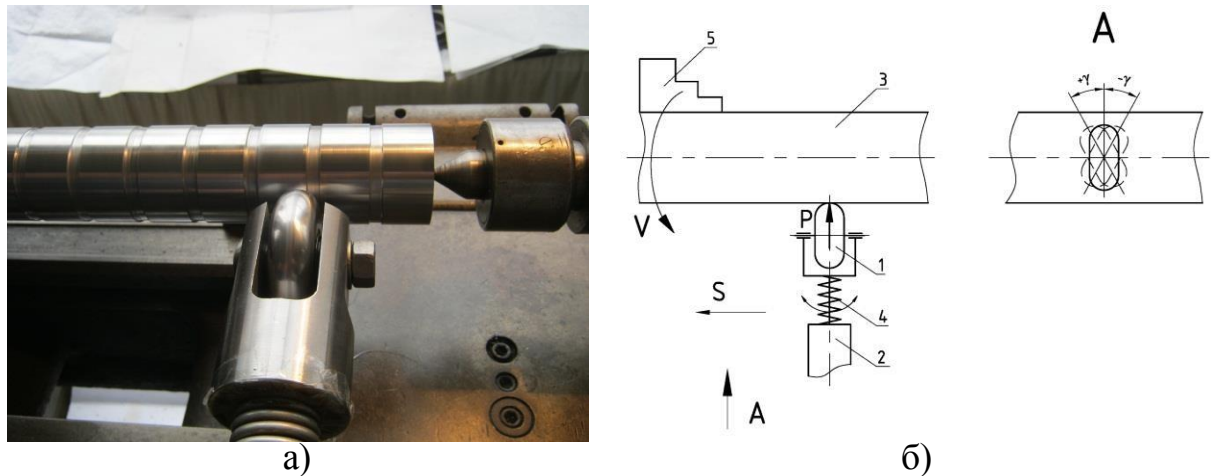


Fig. 1 General view (a) and scheme of experimental equipment (b) during rolling

The workpiece for experimental research was pre-processed on a lathe 1K625 with a working feed at spindle speed. The treated surface was divided into 9 equal sections with a hardness of 250... 275 HB and a surface roughness of $2.5 \mu\text{m}$ on the Ra scale (Fig. 2).

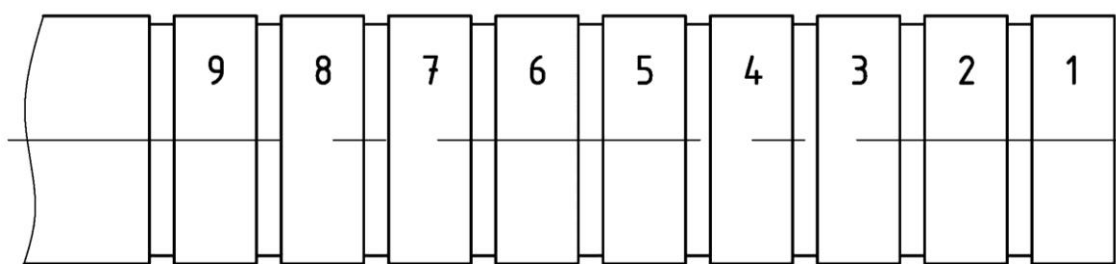


Fig. 2 Sketch of the workpiece

The division of the workpiece at the site level was in accordance with the plan of the experiment. Rolling under certain modes took place at each section.

After rolling, the workpiece was removed from the machine and mounted on prisms, where the surface of each section was studied separately. In particular, the surface hardness readings were taken using a small electronic hardness tester

ETM-01 and the surface roughness readings with an electronic profilometer-profilograph TR200.

According to the results of the experiment it was found that to achieve more rigid roughness it is necessary to choose a negative angle of intersection of the axis of the roller in accordance with the selected modes of operation of the machine. Also, rolling the surface with a negative crossing angle allows you to choose faster operating modes of the machine to achieve the required quality indicators of the surface to be treated.

REFERENCES

1. Odincov L. G. *Uprochnenie i otdelka detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem : spravochnik* / L. G. Odincov. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 328 s.
2. Smelyanskij V. M. *Mekhanika uprochneniya detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem* / V. M. Smelyanskij. – M. : Mashinostroenie, 2002. – 300 s.
3. Kovalevskij S. V. *Osobennosti primeneniya rolikov pri otdelochno-uprochnyayushchej obrabotke naruzhnyh poverhnostej detalej tipa tel vrashcheniya* / S. V. Kovalevskij, A. V. Gushchin // *Nauchnyj vestnik DGMA*. – № 3(15E). – 2014. – S. 44–49.

Пронюк І. В., Копей В. Б. (Україна, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ)

СИСТЕМА ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ НАВЧАЛЬНИМ ГНУЧКИМ ВИРОБНИЧИМ МОДУЛЕМ НА ОСНОВІ ARDUINO, GRBL ТА PYTHON

Запропоновано спосіб реалізації системи програмного керування навчальним гнучким виробничим модулем, який складається з верстата CNC 3018 Pro та робота на основі Arduino UNO. Спосіб оснований на використанні мови програмування Python та її пакетів pySerial і pyFirmata для створення програми керування, що виконується ПК і взаємодіє з інтерфейсами GRBL і StandardFirmata, які виконуються мікроконтролерами верстата і робота. Спосіб характеризується простотою реалізації, низькою вартістю компонентів ГВМ та широкими можливостями завдяки мові Python та її пакетам.

A method for implementing a program control system for a training flexible manufacturing module, consisting of a CNC 3018 Pro machine and a robot based on Arduino UNO, is proposed. The method is based on the use of the Python programming language and its pySerial and pyFirmata packages to create a control program executed by a PC and interacting with the GRBL and StandardFirmata interfaces executed by the machine and robot microcontrollers. The method is characterized by ease of implementation, low cost of FMM components and wide possibilities due to the Python language and its packages.

Гнучкі виробничі системи (ГВС) дозволяють ефективно вирішувати проблеми зменшення виробничих витрат в умовах серійного виробництва [1-3]. ГВС складаються зі з'єднаних транспортними лініями гнучких виробничих модулів (ГВМ), як правило, на основі верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) та промислового робота-маніпулятора, що установлює та знімає заготовку з верстата [2]. Автоматичний режим ГВС дозволяє організувати безлюдне виробництво з мінімізацією витрат на заробітну плату та зменшення впливу людського фактора. Гнучкість ГВС дозволяє їх легко перепрограмувати і переобладнати для випуску інших виробів [2, 3]. Але поняття гнучкості ГВС може бути і ширшим [2]. Складність вивчення ГВС студентами в закладах освіти пов'язана з їхньою високою вартістю – не кожен заклад має можливість їх придбати. Проте навчальні ГВС можна створювати за допомогою недорогих CNC-роутерів та навчальних роботів-маніпуляторів.

Одним з найдешевших CNC-роутерів є трьохосьовий верстат CNC 3018 Pro, який можна придбати на AliExpress за ціною орієнтовно 180 \$. Він призначений для фрезерування або вирізання лазером невеликих деталей з матеріалів, що легко обробляються різанням (дерево, пластик). Рух подачі забезпечують три крокові двигуни 42HS34-13D (NEMA17). Для керування верстатом використовується плата CNC-CAMTOOL-V3.5 на основі мікроконтролера Atmel ATMEGA 328P, в який завантажено програму GRBL 1.1f, з драйверами крокових двигунів A4988.

GRBL [4] – це безкоштовне високопродуктивне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для керування трьохосьовими верстатами з ЧПК, що може працювати безпосередньо на платі Arduino. GRBL написаний на високооптимізованій мові C з використанням функцій чіпів ATMEGA 328P, що використовуються в Arduino UNO [5]. Він здатний підтримувати частоту кроків понад 30 кГц і забезпечує чистий потік керуючих імпульсів без тремтіння. Інтерпретатор G-коду реалізує підмножину стандарту LinuxCNC і без проблем підтримується більшістю CAM-інструментів.

Програма Candle 1.1.7 [6] є контролером GRBL 1.1 з візуалізатором G-коду. Вона має відкритий вихідний код, створена за допомогою графічної бібліотеки Qt та працює на Windows/Linux x86. Основними функціями програми є: управління верстатом з ЧПК на базі GRBL за допомогою консольних команд, кнопок на вікні та цифрової панелі; контроль стану верстата; завантаження, редагування, збереження та відправка файлів G-коду на верстат; візуалізація файлів G-коду.

Найдешевший робот-маніпулятор [7], який можна придбати орієнтовно за 20 \$ у вигляді набору для самостійного складання, містить мікроконтролерну плату Arduino UNO, вирізані на CNC-лазері акрилові деталі та чотири недорогі сервоприводи SG90, які безпосередню під'єднані до Arduino UNO. Точність робота є задовільною для навчальних цілей.

Незважаючи на наявність багатьох ресурсів про програмування Arduino [8, 9], доволі важко знайти ґрунтовну і цілісну інформацію про програмування ГВМ на базі такого обладнання якою-небудь сучасною мовою програмування надвисокого рівня, зокрема, Python. Застосування такої мови дозволить полегшити створення автоматизованої системи керування навчальної ГВС. Існуючі навчальні матеріали про програмування Arduino мовою Python [10-12] не описують особливостей програмування ГВМ.

Метою роботи є створення мовою Python системи керування простого навчального ГВМ, що складається з верстата CNC 3018 Pro та промислового робота на основі Arduino UNO.

У мікроконтролер Arduino UNO робота авторами завантажено програму StandardFirmata, яка дозволяє керувати пристроями через програму, що виконується на персональному комп'ютері, та може бути створена будь-якою мовою програмування, що підтримує передачу даних через послідовний порт та протокол передачі даних Firmata [13]. В Arduino UNO можна завантажити цю програму за допомогою Arduino IDE з меню File > Examples > Firmata > StandardFirmata. В даному випадку застосовано об'єктно-орієнтовану мову програмування загального призначення Python 2.7 з пакетами pySerial [14] та pyFirmata [15]. Такий спосіб керування роботом дозволяє уникнути необхідності програмування користувачем мікроконтролера Arduino, усуває обмеження на його малі обчислювальні ресурси та дозволяє застосувати усі переваги Python – зручність і простота

мови, її надвисокий рівень, можливість під'єднання будь-яких Python-пакетів, зокрема, для машинного зору та машинного навчання.

Для програмування робота авторами створено програму prog.py [16], яка створює зв'язок з Arduino Uno шляхом використання pySerial та pyFirmata, установлює початкове положення робота і, у разі натиску на клавіатурі клавіші (Вліво, Вправо, Вверх, Вниз, PageUp, PageDown, Home, End), збільшує або зменшує кут повороту α_i відповідного сервоприводу на один градус. Фрагмент коду цієї програми для виставлення робота в початкове положення, що відповідає кутам ($\alpha_1=90^\circ$, $\alpha_2=50^\circ$, $\alpha_3=90^\circ$, $\alpha_4=150^\circ$) показано нижче. В ньому s1, s2, s3, s4 – об'єкти сервоприводів, які під'єднані до відповідних цифрових пінів плати Arduino UNO.

```
from pyfirmata import Arduino, util
time=util.time                                     # для створення затримок часу board
= Arduino('COM15', baudrate=57600) # плата Arduino UNO s1=board.get_pin('d:3:s')#
сервопривід на 3-му цифровому піні s1.write(90)    # повернути на 90 градусів
s2=board.get_pin('d:5:s')
s2.write(50)
s3=board.get_pin('d:6:s')
s3.write(90)
s4=board.get_pin('d:9:s')
s4.write(150)
```

Коли робот опиняється в заданому положенні, користувач натискає клавішу Р, щоб запам'ятати поточні кути сервоприводів. Ці кути у вигляді кортежу ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) додаються до списку Р, що і являє собою програму для керування роботом. Якщо користувач завершив програмування, він натискає клавішу Esc і може зберегти цей список. Далі цей список використовується у програмі, що керує ГВМ. Нижче показана частина цього списку:

```
P=[(90, 64, 90, 150),(176, 64, 90, 150), ... , (90, 50, 90, 150)]
```

Функція key_handler викликається під час натиску клавіші на клавіатурі. Цілочисловий код клавіші зберігається в атрибуті keycode об'єкта event. Локальна змінна s – це об'єкт поточного сервоприводу, а st – величина зміни кута. Поточний кут зберігається в атрибуті value. Функція addPoint додає кортеж кутів ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) до списку Р.

```
def key_handler(event=None):
    if event:                                     # якщо клавіша натиснута
        k=event.keycode
        print "keycode=",k
        if k==39: s=s1; st=-1 # <вправо> elif
        k==37: s=s1; st=1 # <вліво>
```

```

elif k==40: s=s2; st=-1 # <вниз> elif k==38:
s=s2; st=1 # <вверх>
elif k==34: s=s3; st=-1 # назад <PageDown> elif k==33:
s=s3; st=1 # вперед <PageUp> elif k==36: s=s4; st=-1 #
закрити <Home> elif k==35: s=s4; st=1 # відкрити
<End>
elif k==27: print P; board.exit(); r.destroy(); return P # вихід <Esc>
elif k==80: return addPoint() # додати точку <P> else: s=None
if s:
    s.write(s.value+st) # повернути на кут s.value+st
    time.sleep(0.1)
    print s.value

```

Щоб програма реагувала на події клавіатури вона повинна мати графічний інтерфейс. Найпростіший спосіб створити таку програму – використати стандартну бібліотеку Tkinter:

```

import Tkinter as tk
r = tk.Tk() # створити вікно
r.bind('<Key>', key_handler) # пов'язати подію <Key> з функцією r.mainloop()
# очікувати події

```

Як правило G-код передається з персонального комп'ютера на мікроконтролер з використанням послідовного порту, наприклад, з таких програм як Candle, але також може бути переданий за допомогою Python-модуля, що використовує пакет pySerial [17]. Розроблена авторами програма main.py [16], що керує ГВМ, використовує подібний модуль (mysimple_stream.py [16]) для керування верстатом та список prog1, отриманий програмою prog.py, для керування роботом. Програма main.py установлює з'єднання з платою Arduino робота та GRBL-платою верстата (використовуються різні послідовні порти, наприклад COM15 і COM14), установлює початкове положення робота, виконує першу частину програми робота для установки заготовки на верстат (prog1[:11]), виконує G-код для верстата та виконує другу частину програми робота для переміщення готової деталі з верстата (prog1[11:]). Ці дії можуть бути повторені довільну кількість раз в залежності від кількості деталей, що потрібно обробити. Основна частина коду показана нижче:

```

import mysimple_stream
for i in range(1): # замість 1 введіть кількість повторів циклу
    runProgram(program=prog1[:11]) # перша частина програми робота
    mysimple_stream.run("grbl0.gcode") # допоміжний G-код mysimple_stream.run()
    # основний G-код runProgram(program=prog1[11:]) #
    друга частина програми робота

```

board.exit()

Тут runProgram(program) – функція для виконання програми робота, яка отримує список кортежів з кутами. Вона для кожного кортежу у списку program викликає функцію move(s, p) для кожного кута p сервоприводу s. Функція move повільно повертає сервопривід s на кут p з його поточного положення. Для цього використовується алгоритм покрокового повороту (на 1°) з невеликою затримкою вкінці кожного кроку. Функція run модуля mysimple_stream виконує G-код на верстаті. Вона може отримувати назву текстового файлу з G-кодом. Якщо назви немає, то виконується код у файлі з назвою grbl.gcode. Фрагмент такого коду показано нижче:

```
N10 G00 X-2.754 Y2.872 Z1.  
N20 G01 Z0. F100.  
N30 X-4.872 Y1.686  
...  
N40 G00 X0 Y0 Z25  
N50 M30
```

Перед викликом основного G-коду деколи слід викликати допоміжний, як це показано вище. Файл grbl0.gcode містить команди переміщення інструмента з безпечної Z-координати в робочу систему координат, т.0 якої знаходиться на поверхні «заготовки»:

```
N10 G00 Z-25 N20  
M30
```

Для налагодження робочої системи координат шляхом переміщення інструменту в її т.0 та тестування G-коду використовували програму Candle.

На рис. 1 показано навчальний ГВМ, а на рис. 2 – зв'язки компонентів ГВМ. На відео [18] показано роботу цієї системи. Для спрощення навчальної задачі замість фрези було використано маркер, який рисує на заготовці задану фігуру. Заготовка кріпиться до стола верстата за допомогою магніту. У іншому випадку слід передбачити спеціальний пристрій для закріплення заготовки, який приводиться в дію за допомогою певного актуатора за сигналом з Arduino. Код для верстата з ЧПК може бути створений вручну у випадку нескладної обробки або за допомогою САМ-програми. В даному випадку запрограмувати таку еліптичну траєкторію вручну проблематично, тому для автоматизації генерації G-коду було використано САМ-модуль FreeCAD [19].

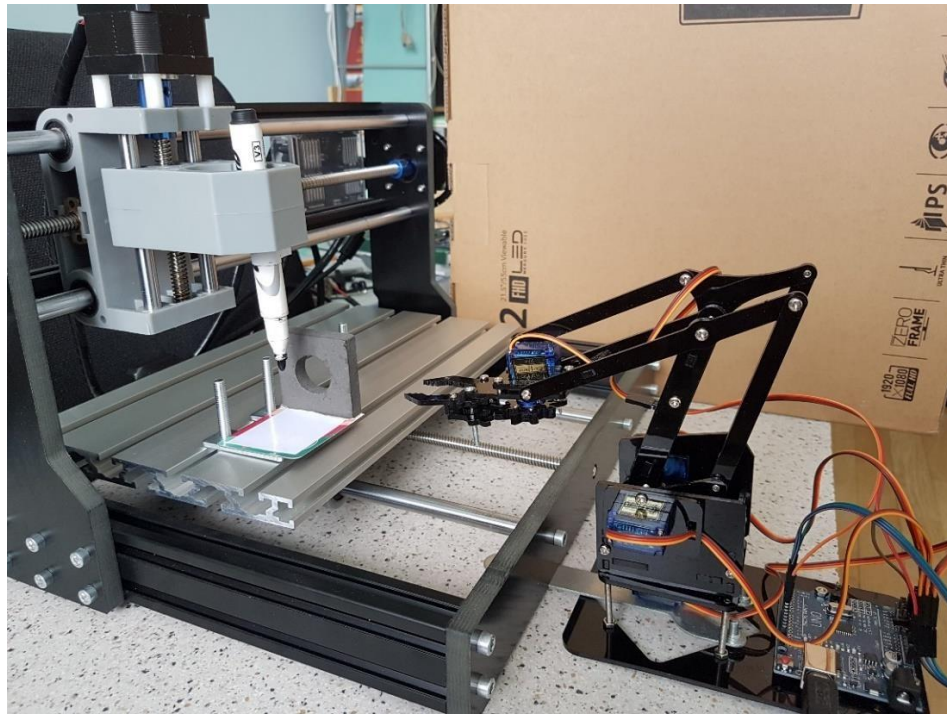


Рисунок 1 – Навчальний ГВМ, яким керує розроблена програма

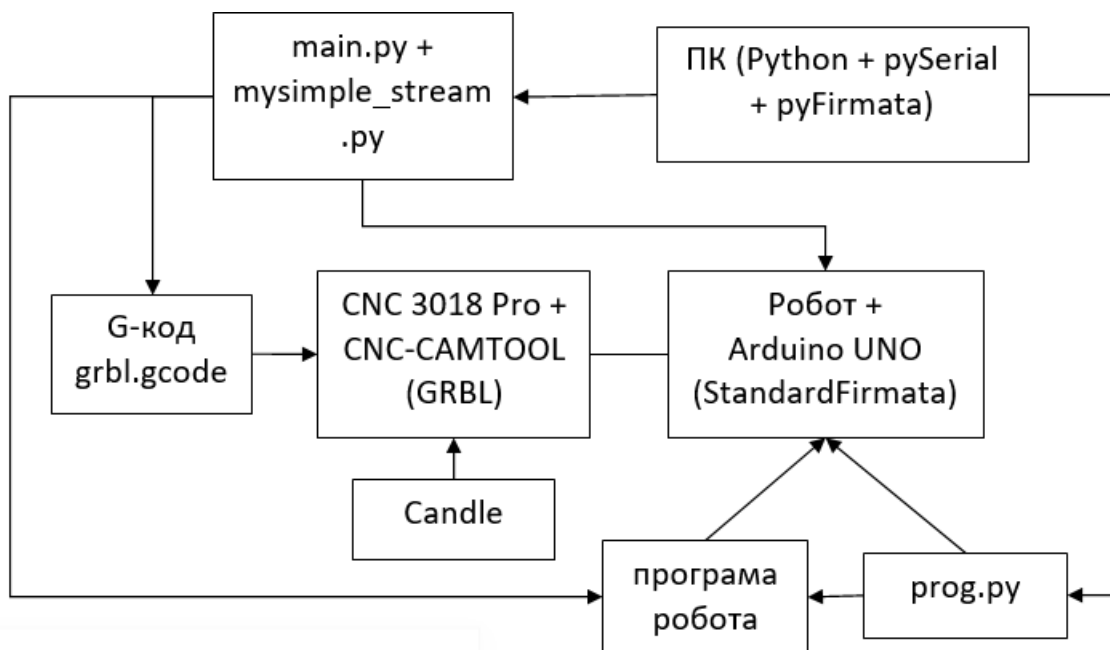


Рисунок 2 – Зв'язки компонентів ГВМ

Висновки. Запропонований спосіб програмного керування ГВМ характеризується простотою реалізації, низькою вартістю компонентів ГВМ та широкими можливостями завдяки мові Python та її пакетам. У першу чергу його планується використовувати в навчальних цілях. Проте, у разі застосування більш надійного обладнання і способів передачі цифрових даних, він має перспективи і в промисловому використанні. В майбутньому планується реалізувати систему автоматичного контролю, доповнити ГВМ

відеокамерою та алгоритмом машинного зору для розпізнавання заготовок роботом. Ознайомитись з кодом програми, долучитись до проекту, а також залишити свої побажання та зауваження можна на GitHub [16].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Shivanand H. K., Benal M. M., Koti V. *Flexible Manufacturing System*. New Delhi : New Age Publications (Academic), 2006. 165 p.
2. An open source, embedded, high performance g-code-parser and CNC milling controller written in optimized C that will run on a straight Arduino. URL: <https://github.com/gnea/grbl> (last access 30.05.2022).
3. Arduino UNO R3. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (last access 30.05.2022).
4. GRBL controller application with G-Code visualizer written in Qt. URL: <https://github.com/Denvi/Candle> (last access 30.05.2022).
5. 4DOF ARM acrylic robot arm URL: <https://www.sinoning.com/docs/4dofarm/> (last access 30.05.2022).
6. Bräunl T. *Embedded Robotics : From Mobile Robots to Autonomous Vehicles with Raspberry Pi and Arduino*. 4-ed. Springer, 2022. 510 p.
7. Smythe R. J. *Advanced Arduino Techniques in Science : Refine Your Skills and Projects with PCs or Python-Tkinter*. New York : Apress, 2021. 306 p.
8. Cicolani J. *Beginning Robotics with Raspberry Pi and Arduino : Using Python and OpenCV*. New York : Apress, 2021. 369 p.
9. Python Tkinter GUI development exercises with Hardware control via Arduino microcontrollers URL: https://github.com/robots-guy/Arduino_Python_programming_for_Robots (last access 30.05.2022).
10. Documentation of the Firmata protocol. URL : <https://github.com/firmata/protocol> (last access 30.05.2022).
11. Python serial port access library. URL : <https://github.com/pyserial/pyserial> (last access 30.05.2022).
12. Python interface for the Firmata protocol. URL: <https://github.com/tino/pyFirmata> (last access 30.05.2022).
13. CNC3018Pro and Robot Arm. URL: <https://github.com/vkopey/CNC3018Pro-and-Robot-Arm> (last access 30.05.2022).
14. Python Streaming Scripts. URL: <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Using-Grbl#python-streaming-scripts-officially-supported-by-grbl-cross-platform>
15. Гнучкий виробничий модуль. URL: <https://youtu.be/F7Ug1FMFe9o> (last access 30.05.2022).
16. FreeCAD: Your own 3D parametric modeler. URL: <https://www.freecadweb.org/> (last access 30.05.2022).

Romanchenko S.P. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

GALVANIC MECHANICAL CHROME CHROME AS A METHOD OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF WORKING SURFACES OF PARTS

The article considers the method of galvanic-mechanical chromium plating to increase the wear resistance of friction parts and to restore the size of parts that are underestimated due to wear or violation of the technology of their processing.

In modern mechanical engineering and repair production, galvanic-mechanical chromium plating is widely used to increase the wear resistance of rubbing parts and to restore the dimensions of parts that are underestimated due to wear or violation of their processing technology. Usually, for these purposes, thick (more than 0.1 mm) chromium coatings are used, which are built up at significant current densities to speed up the process. Such coatings are subject to a set of requirements that all known methods for producing chromium coatings satisfy only partially. First of all, the disadvantage of most methods is that as the thickness of the coating increases, its roughness sharply increases. To eliminate it, a laborious operation of grinding the surface of the coating is required, which inevitably sharply increases microfracturing, porosity of the coating, which is the cause of insufficient corrosion resistance and protective ability of chromium coatings. After grinding, a micro-relief of the coating is obtained, which contributes to the rapid wear of the counter body, for example, the rubber seal on the shock absorber rod.

One of the technological methods for increasing the wear resistance of the working surfaces of parts is the method of galvanic-mechanical chromium plating, which consists in the fact that in the process of chromium electrodeposition, the resulting coating is periodically affected according to a given mode by a rotating honing head made of a metal insoluble during anodic polarization and which is the anode of a galvanic bath. The rotation of the honing head creates intense mixing of the electrolyte, which allows the use of a high cathode current density. The effect of hones on the coating makes it possible to achieve uniformity of the coating and obtain a roughness of $Ra\ 0.1 \dots 0.05\ \mu m$.

The disadvantage of this method is that the grain size of the abrasive determines the degree of surface roughness of the coating. The fine-grained abrasives used in this case are characterized by a low removal rate and therefore cannot smooth out the unevenness of the coating, which grows at a high rate at high current densities. Thus, in this case, insufficiently high quality of the coating is obtained.

The closest method in terms of purpose, technical essence and the achieved result is the method of galvanic-mechanical chromium plating of cylindrical products, including the mechanical impact of the tool on the workpiece during electrolysis at a current density of 10-500 A/dm², with its relative movement relative to the workpiece and rotation of the product or tool.

Mechanical action is carried out with a mineral ceramic tool with a polished surface at a pressure of 0.05-3 MPa. In this case, the relative movement of the tool relative to the workpiece is carried out at a speed of 30-200 bits. x./min, mechanical action is carried out at a circumferential speed of rotation of the tool or product 0.9-5 m/min and an electrolyte temperature of 58°C or 18-30°C, depending on the composition of the electrolyte. The use of this method makes it possible to obtain, according to the author's certificate, a better chromium coating, namely the 14th class of surface cleanliness, with a microhardness of 850-1250 MPa, a wear resistance of 1.6 mg, adhesion to the base metal of 25-30%, a uniform distribution of the coating along the length of 2- 5 μm , with a potential difference between the instrument and the sample of 1.8 V.

The disadvantage of this method is that it does not always allow you to get a high-quality coating, which is indicated in the copyright certificate. When using the method, it is possible to obtain a low-quality coating with insufficient uniformity of the distribution of the coating along the length of the product, insufficient thickness and surface finish, microhardness, wear resistance and adhesion to the base metal. This is explained by the fact that this method does not provide for the use of an adjustable contact pressure on the workpiece surface, that is, it does not provide for the use of a tool made in the form of freely rotating and freely moving rollers of a given weight relative to their own axis, located at an angle relative to the axis of the workpiece, which produce better smoothing of both internal and external cylindrical surfaces.

At the same time, the modes are not optimal and do not always provide better coverage. In addition, this method is not suitable for chromium plating of long cylindrical products, which is also its disadvantage. This method does not provide for measuring the thickness of the coating during its application, which also leads in some cases to obtaining a coating of underestimated or overestimated thickness, which adversely affects the quality of the resulting coatings and limits the use of this method.

The technical problem solved by the latest invention is the creation of a method for galvanic-mechanical chromium plating of cylindrical products, which provides a better coating due to the implementation of controlled contact pressure on the surface to be treated and the use of optimal modes for implementing the method. In addition, the technical task of this method is chromium plating of long cylindrical products and obtaining coatings of a strictly specified thickness.

The method of galvanic-mechanical chromium plating of cylindrical products, including the mechanical impact of the tool on the workpiece during electrolysis, occurs at a current density of 10-500 A/dm². In the process of processing, the tool moves relative to the workpiece and rotates the workpiece, mechanical action is carried out at a workpiece rotation frequency of 60-120 rpm and an electrolyte temperature of 50-70°C. The tool is made in the form of rollers freely rotating and freely moving relative to their own axis, with the smallest angle between the axis of the workpiece and the axes of the rollers within 20-90° and the weight of each of the rollers within 1-50 g, while the movement of the tool relative

to the workpiece is carried out at a speed of 15-250 dv. x./min and the amplitude of the movement of the tool, determined by the formula:

$$A=D\div 2D,$$

where A is the amplitude of the tool movement;

D is the maximum roller diameter.

The maximum relative movement of the rollers along their own axis is not more than the length of the roller. According to the invention, the mechanical action is carried out on the supported cylindrical product.

During the chromium plating process, periodic measurements of the coating thickness are carried out. A high-quality chromium coating is obtained due to the fact that an adjustable contact pressure is applied to the surface to be treated. Due to the free rotation and free movement of the rollers with the smallest angle between the axis of the workpiece and the axes of the rollers within 20-90 ° and the weight of each of the rollers within 1-50 g, a mechanical effect on the surface to be coated is regulated by the angle of inclination and the weight of the rollers in the specified range. products. At the same time, due to the forces of friction and movement of the tool, free rotation and free movement allow you to constantly change the contact zone, while most of the surface of the rollers is involved in processing. The contact point is blurred over the surface of the rollers, as a result, the blur spot increases to 2-5 mm and the quality of the machined surface improves. At the same time, wear of the rollers is reduced and the service life is increased. In this case, the relative movement of the tool relative to the workpiece is carried out at a speed of 15-250 bits. h./min and the amplitude of movement of the tool, determined depending on the diameter of the roller according to the formula $A=D\div 2D$. All this contributes to the best smoothing of the "combs" of chromium formed during coating, and provides a coating that is evenly distributed along the length of the product, the necessary microhardness, wear resistance and adhesion to the base metal. As a result, a better coating is obtained when applied to both the inner and outer cylindrical surfaces of the workpiece.

The implementation of the maximum relative movement of the rollers along their own axis at a length no greater than the length of the roller ensures that the contact patch is washed out in both directions, which also improves the quality of the coating. The implementation of mechanical action on the supported cylindrical product provides the possibility of processing long cylindrical products. In addition, during the chromium plating process, the measurement of the thickness of the coating is carried out, which is carried out periodically so as not to damage the coating. This allows you to consistently obtain a coating of the required thickness, which also improves the quality of the applied coating.

The process of galvanic-mechanical chromium plating is carried out on a special installation that provides the application of a chromium coating on the treated surface of a cylindrical product with simultaneous mechanical action on the deposited chromium layer. The installation must provide reliable electrical contact of the workpiece with the source of technological current, carried out through the

switching system of the installation. The design of the installation should provide the possibility of rotation of the chrome-plated product and reciprocating movement of the tool with the necessary pressing of the rollers (working elements) of the tool to the surface to be treated in order to continuously mechanically impact them on the chrome-plated surface during the entire process. In this case, the smallest angle between the axis of the workpiece and the axes of the rollers is provided within 20-90 ° and the weight of each of the rollers is within 1-50 g.

The design of the tool should ensure reliable constant contact of its rollers with the chrome-plated surface of the product during the chromium plating process. To process internal cylindrical surfaces, the tool rollers must be made with a spherical outer surface. For processing outer cylindrical surfaces, the rollers must be made cylindrical. In this case, the rollers are made of a non-conductive material of the required hardness, for example, ceramic. The installation provides two positions: loading and working. In the loading position, the design of the installation ensures quick assembly and disassembly of the workpieces in the centers outside the zone of contact with the electrolyte. In the working position, the tool is in contact with the workpiece surface, which is washed by the electrolyte.

The machined surface can be both internal and external cylindrical surfaces. The structural elements of the installation in contact with the electrolyte must be made of chemically resistant materials. The remaining structural elements must be reliably protected by a coating resistant to chromic acid vapors. The design of the installation ensures the maximum relative movement of the rollers along its own axis at a length not exceeding the length of the roller. When processing long cylindrical products, the body of the product is supported, for example, by means of support rollers located outside the electrolyte bath, and the product can move in the bath as the chromium coating is applied.

CONCLUSIONS

Thus, the method of galvanic-mechanical chromium plating of cylindrical products provides a better coating when processing cylindrical, including long cylindrical products. This is achieved through the use of a tool made in the form of freely rotating and freely moving relative to its own axis rollers of a given weight, located at an angle relative to the axis of the workpiece, and more optimal modes of implementation of the method. This method also allows chromium plating of long cylindrical products and ensures the production of coatings of a strictly specified thickness. At the same time, by reducing the wear of the rollers, their service life is increased, which has a positive effect on the application of the method.

Romanchenko S.P. (Ukraine, Kramatorsk, DSEA).

METHOD OF LOCAL STRENGTHENING OF STEEL PARTS.

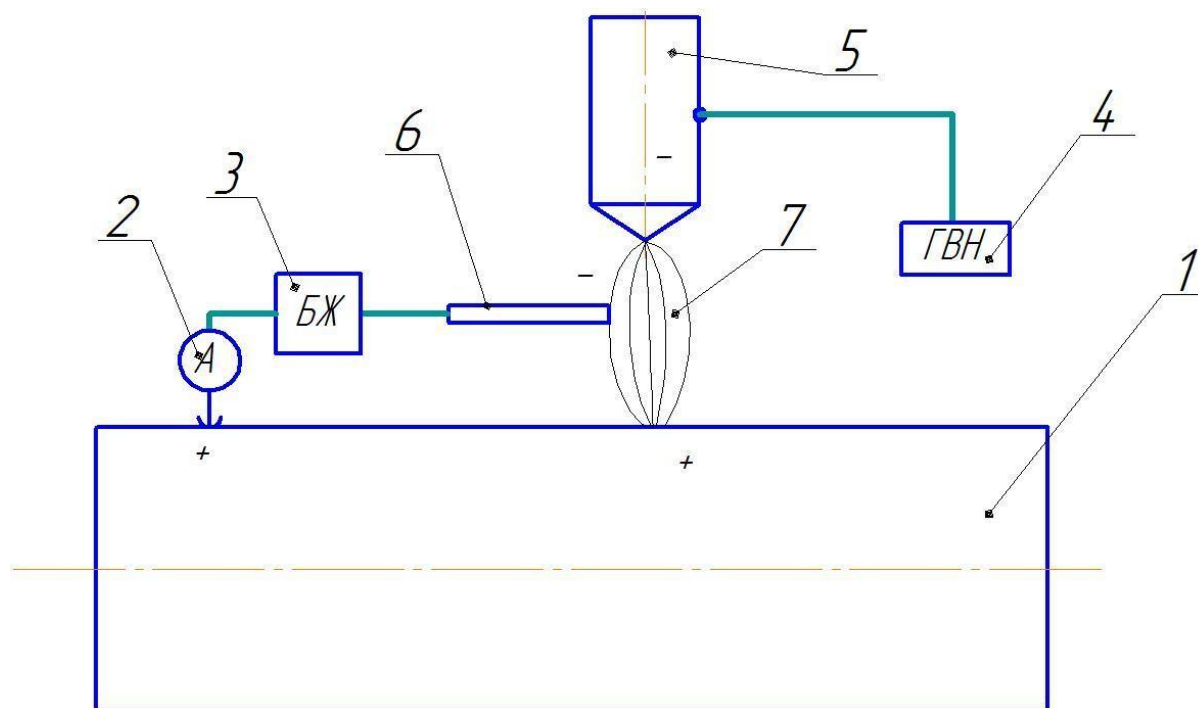
The article considers the method of local strengthening of steel parts, due to the fact that often to achieve the specified characteristics of the part consumes less energy and increased ability to change properties under the influence of temperature. The proposed method can significantly increase the wear resistance of the surface layer and improve the operational reliability of machine parts.

To bring mechanical engineering to the proper level, it is necessary to improve the quality of manufactured products. To do this, it is necessary to follow the latest scientific developments in world science. One of the modern methods of improving the performance of machine parts, cutting tools, foundry equipment is the use of electromechanical processing (EMO). This method allows to increase the performance characteristics, such as strength, wear resistance, corrosion resistance [1-3].

Electromechanical processing (EMO) of metal parts is one of the modern science-intensive technologies. It is characterized by a complex multifactorial interaction of phenomena of different physical and chemical nature that occur in the system "tool-product". This necessitates a systematic approach in the development of this technology, including process analysis and on its basis the choice of optimal ways to implement EMO to obtain products with predefined for specific operating conditions service properties [4, 5].

The paper proposes a method of local hardening of steel parts, which consists in creating a corona discharge field on the machining surface using an electrode made of material implanted under the action of superimposed electric voltage with a given potential difference. As a result, an ordered technological environment is created in the technological space, in which the formation of the surface layer of the working surface of the part is carried out.

The method is as follows. A constant or pulsed voltage with a given potential difference is applied to the surface of the part to be strengthened. Machining modes are set on the lathe and tool part. The processing scheme is presented in fig. 1. The current supply is not through the tool, which leads to a significant increase in temperature, but through the conductive cord corona discharge, while the applied potential difference of additional sources of current promotes the transfer of electrode ions to the sample surface and due to potential differences ions are implanted to the surface. Thus, the structure of the surface layer of the future working surface is streamlined.



1 - detail; 2 - electric current; 3 - power supply; 4 - high voltage generator; 5 - corona discharge electrode; 6 - working electrode; 7 - corona discharge

Fig. 1 - Scheme of local strengthening of steel parts

On the basis of experiments and research, we obtained results that indicate a change in surface stability during the wear test.

REFERENCES

1. *Elektromekhanicheskaya obrabotka: tekhnologicheskie i fizicheskie osnovy, svoystva, realizacii* / V.P. Bagmutov, S.N. Parshev, N.G. Dudkina, I.N. Zaharov. – No-vosibirsk: Nauka, 2003. – 318 s.
2. A.s. №91691 (*Gostekhnika SSSR*) na vinahid «Sposoba chistovoj obrabotki poverhnostej metallicheskih izdelij».
3. UA 28828 MPK V23N 5/00. *Sposib misceвого zmichennya stalevih detalej* / S.V.Kovalevs'kij, V.I.Tulupov, L.P.Kolot; vlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademiya. – № u200708520; zayavl. 24.07.2007; opubl. 25.12.2007, Byul. №21. – 2s.
4. Elagina O.YU. *Uchebnoe posobie «Tekhnologicheskie metody povysheniya iznosostojkosti detalej mashin»*. Universitetskaya kniga. Logos, 2009 – 485 s.
5. Bojcov V.B., Chernyavskij A.O. *Tekhnicheskie metody povysheniya prochnosti i dolgovechnosti*. Moskva: «Mashinostroenie», 2005. – 108 s.

Rudakova K.A. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

FEATURES OF FORMATION OF THE TRAINING TRACTOR OF THE TOOL IN THE WORKING ZONE OF THE HEXAPOD.

The article presents an analysis of the features of the formation of the trajectory of the tool in the working area of the hexapod. Recommendations are given on the use of a mathematical apparatus for modeling the executive movements of a hexapod.

The development of the machine-building industry of Ukraine requires the improvement of the means and methods of shaping machine parts and their control [1]. A promising direction in the creation of technological machines, including for machining, is the use of equipment based on mechanisms with parallel kinematics [2, 3]. Their features are: high structural rigidity; achievable accuracy of working movements with low (in comparison with traditional equipment) metal consumption [1-3].

Currently, machine tool firms widely offer hexapod and tripod machines, however, their use is associated with the complexity of controlling actuators to ensure a given trajectory of movement [4, 5].

Currently, the number of works in this direction is limited. This, in our opinion, is due to the fact that there is a need to solve direct and inverse problems of geometric design of dimensional bonds in classical representatives of mechanisms with parallel kinematics - hexapods [5].

No less complex problems arise in the mechanisms of tripods, pantopods, and rotopods. The solution of problems of geometric design becomes even more complicated when moving from an ideal scheme of a mechanism with parallel kinematics to its practical implementation.

The trajectory is given by a set of linear and angular coordinates of the current position of the tool as a function of time t . In this case, the position of the ends (hinges) of the controlled rods of the mechanism should be taken into account.

Such optimization of the trajectory improves the quality of the machine under consideration, since due to the absence of a reverse of the drive motors, transient processes are reduced, which potentially reduces the likelihood of self-oscillations.

It can also be noted that such optimization can be carried out not only at idle run of the tool between technological operations, but also during its operation. This is due to the fact that different lengths of rods can correspond to the same position of the working tool in the hexapod design, and by choosing them accordingly, you can achieve the optimal trajectory.

REFERENCES

1. Mamaev YU.A. *Dinamika dvizheniya robota-stanka s parallel'noj kinemati-koy (geksapoda) dlya okonchatel'noj obrabotki detalej slozhnoj geometrii [Avtore-ferat] / YU.A. Mamaev, L.A. Rybak // Dinamika, prochnost' mashin, priborov i appara-tury – Kursk, 2014.*
2. Korotkova G.P. *Principy celostnosti (k voprosu o sootnoshenii zhivyyh i nezhyvyh sistem) / G.P. Korotkova. – L.: Izd-vo Leningrad. un-ta, 1968. – 160 s.*
3. Kuznecov YU.N. *Komponovki stankov s mekhanizmami parallel'noj struktu-ry / YU.N. Kuznecov, D.A. Dmitriev, G.E. Dinevich. – Herson: PP Vyshemirskij V.S., 2010. – 471 s.*
4. Afonin V.L. *Obrabatyvayushchee oborudovanie na osnove mekhanizmov paral-lel'noj struktury / V.L. Afonin, P.V. Podzorov, V.V. Slepcev; pod obshch. red. V.L. Afonina. – M.: Izd-vo MGTU STANKIN, 2006. – 452 s.*
5. Kuznecov YU.N. *Genetiko-morfologicheskij princip sozdaniya stankov novogo pokoleniya / YU.N. Kuznecov // Visnik SevNTU. Vip. 110: Mekhanika, energetika, ekologiya: zb. nauk. pr. – Sevastopol', 2010.*
6. Rybak L.A. *Effektivnye metody resheniya zadach kinematiki i dinamiki robota-stanka parallel'noj struktury / L.A. Rybak, V.V. Erzhukov, A.V. CHichvarin – M.: FIZMATLIT, 2011. – 60 s.*

Самсонова Т.М. (Відокремлений структурний підрозділ «Слов'янський фаховий коледж Національного авіаційного університету», м. Слов'янськ, Україна)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ ЕКОНОМІКИ

Використання інформаційно-комп'ютерних технологій, в навчальному процесі, збільшує можливості постановки навчальних завдань і управління процесом їх виконання. Інформаційно-комп'ютерні технології дозволяють якісно здійснювати контроль діяльності студентів, забезпечуючи при цьому гнучкість керування навчальним процесом. Серед низки сучасних підходів до навчання вагоме місце займає дистанційна форма навчання – нова форма освітнього процесу, яка дає змогу вчитися та надає умови для якісної роботи і сприйняття інформації.

The use of information and computer technologies in the educational process increases the possibilities of setting educational tasks and managing the process of their implementation. Information and computer technologies allow high-quality control of students' activities, while providing flexibility in managing the educational process. Among a number of modern approaches to learning a, distance learning plays a significant role – a new form of educational process that allows you to learn and provides conditions for high-quality work and perception of information.

На сьогодні все більш помітна орієнтованість в сторону інформаційно-комп'ютерних технологій, широко використовується дистанційне навчання в результаті інформатизації суспільства і реформування системи освіти.

У сучасних умовах Україна поступово перетворюється в інформаційну державу, що призводить до значного збільшення переліку вимог щодо використання інформаційних та комп'ютерних технологій, практично, в усіх галузях діяльності людини, зокрема і в освіті.

Актуальність даної теми обумовлена стрімким розвитком інформаційно-комп'ютерних технологій та їх впровадженням в навчальний процес, які його удосконалюють. Реалізація процесу інформатизації та застосування електронної освіти як не-перервного процесу є ефективними технологіями.

Питання впровадження ефективних технологій у навчальний процес розглядалося ще в 20-х роках ХХ ст. у працях Бехтерева В., Павлова І., Ухтомського А., Шацького С.

Інноваційні педагогічні технології в організації навчально-виховного процесу, у вищих навчальних закладах, розглядались в дослідженнях Богданової І., Боднара В., Гохберг О., Євдокимова О., Козловської І., Сидоренка С., Слободенюка А. та інших.

Інформаційно-комп'ютерні технології – це програмне й апаратне забезпечення персональних комп'ютерів, технології обробки, збереження, відбору та представлення інформації, глобальна комп'ютерна мережа Інтернет та інше.

Метою статті є запровадження інформаційно-комп'ютерних технологій, зокрема дис- танційних, для забезпечення якісної освіти в вищих навчальних закладах.

Сучасний стан розвитку суспільства характеризується різким зростанням інформаційних потоків не тільки в засобах масової інформації, але й у сфері виробництва, науки, культури. Якщо донедавна ступінь розвитку суспільства визначався ступенем його індустріалізації, то на сьогодні визначається ступенем інформатизації [1].

Високий рівень інформатизації і в освіті. Комп'ютер став невід'ємним атрибутом навчальних закладів. Обробити інформаційні потоки без застосування комп'ютера неможливо. Комп'ютер, в інформаційних технологіях навчання, використовують як один з ефективних засобів обміну інформацією.

Комп'ютер виконує функції робочого інструменту: засобу підготовки текстів та їх збереження; текстового редактора; графічного редактора; обчислювальної машини; засобу моделювання. Функцію об'єкта навчання комп'ютер виконує при програмуванні; створенні програмних продуктів; застосуванні різних інформаційних середовищ.

З розвитком та впровадженням інформаційно-комп'ютерних технологій стало мож-ливим і використання Інтернет-ресурсу у викладанні економіки, що є важливим завданням.

Комп'ютеризація навчання, зокрема економіки, потребує наявності спеціально органі-зованої комп'ютерної навчальної програми. Проведення заняття з використанням інформа- ційно-комп'ютерних технологій вимагає від викладача певної підготовки, зокрема використання різноманітного прикладного програмного забезпечення.

Чим ширше застосовуються новітні комп'ютерні технології в процесі вивчення еконо-міки, тим ефективнішими є результати навчання. Студенти користується електронними мате-ріалами, виконують завдання, тести, складають бізнес-плани. На мультимедійній дошці про-ходять презентації тем курсу економіки. Інтернет-ресурси використовуються на заняттях з економіки для засвоєння матеріалу, ілюстрації, повторення і перевірки отриманих знань, актуалізації та закріплення знань.

Різноманіття теоретичних економічних знань, застосування їх на практиці, уміння аналізувати економічні ситуації, робити певні обчислення, будувати графіки, розуміти статистику, загадковість сучасних досліджень, особливості життя населення різних країн, їх-ній економічний розвиток, гострі екологічні та демографічні проблеми сьогодення, все це – з використанням програмних засобів, таких як електронні підручники й навчальні посібники, мультимедійні енциклопедії, що відкриває доступ студентам до великого об'єму нової інформації, яка в традиційному вигляді (на паперовій основі), практично, не реалізується. Це сприяє вихованню в студентів здатності відчувати, бачити проблеми. Широко викорис- товуються Інтернет-ресурси для підготовки лекцій, наочного матеріалу у вигляді схем, карт, створення мультимедійних презентацій будь-якої теми.

Таким чином, інформаційно-комп'ютерні технології підвищують ефективність навчального процесу. Електронне навчання базується і на застосуванні дистанційних технологій, які дозволяють організувати процес

навчання, як процес взаємодії студентів та викладача, студентів між собою, незважаючи на їх фізичне розміщення у просторі та часі; відкривають доступ до навчальних матеріалів з будь-якого місця та в будь-який час. Розвиток дистанційної освіти не випадковий – це закономірність адаптації освіти до сучасних умов: виконати соціальне замовлення суспільства без особливих матеріальних втрат з боку держави. Дистанційне навчання розглядають як сукупність інформаційних технологій, яке базується на використанні комп'ютерів, електронних підручників і таке інше. Це й робить дистанційне навчання технологією навчання XXI сторіччя.

Характерними рисами є: гнучкість, модульність, економічна ефективність, координаційна роль викладача, використання спеціалізованих форм і засобів навчання, але все ж таки ніяка форма навчання не замінить навчання в аудиторії зі студентами.

Під дистанційною освітою розуміють широкий спектр освітніх програм і курсів, починаючи від курсів підвищення кваліфікації, що не мають акредитації, закінчуючи акредитованими програмами вищої освіти, які реалізують можливість тісного спілкування студентів зі своїми викладачами і однокурсниками, як це відбувається при очному навчанні. Для забезпечення ефективної взаємодії при дистанційному навчанні використовується цілий спектр засобів: інтерактивні комп'ютерні програми, різноманітні сервіси Internet, електронна пошта, телефон, факс і звичайна пошта [2].

Більшість методик викладання передбачає безпосереднє спілкування в умовах аудиторних занять, в повній мірі яким відповідають веб-платформа Zoom та Google сервіси: Blogger, Google Classroom. Веб-платформа Zoom використовується, переважно, для проведення лекцій з додатковим використанням презентацій, відеоматеріалів та таке інше.

За допомогою сервісу Blogger реалізується виконання проектів з дисципліни: створення веб-квестів, що сприяє підвищенню у студентів рівня самоорганізації, розвиває навички роботи в групі, сприяє розвитку творчих здібностей.

Веб - сервіс Google Classroom дає можливість створити повноцінне віртуальне освітнє середовище. Віртуальне освітнє середовище можна трактувати як навчальне онлайн-середовище, специфічний відкритий динамічний простір реалізації освітнього процесу [3].

Дистанційні технології не завжди є перешкодою для надання якісної освіти, а створюють і умови для оволодіння новими навичками, в умовах цифрових технологій, в освіті, в реаліях сьогодення.

Дистанційне навчання – це технологія, що базується на принципах відкритого навчання, широко використовує комп'ютерні навчальні програми різного призначення та створює за допомогою сучасних телекомунікацій інформаційне освітнє середовище для постачання навчального матеріалу та спілкування. Дистанційне навчання має низку переваг перед іншими формами навчання. Так, практично, не виходячи з дому чи не покидаючи сво-го робочого місця, можна підтримувати регулярний контакт з викладачем за допомогою телекомунікаційних технологій, у тому числі відеозв'язку, та одержувати навчальний матеріал в електронному вигляді.

Використання мережі Internet дає можливість оперативного доступу до інформаційних ресурсів навчального закладу та можливість ефективної взаємодії «викладач-студент», як в online, так і в offline режимах.

Таким чином, застосування інформаційно-комп'ютерних технологій, в організації навчального процесу, дозволяє підвищити ефективність навчання і забезпечити контроль знань, розширити обсяг пропонованої навчальної інформації, допомагає розвитку пізнавальної діяльності студентів, широкому розкриттю їх здібностей, активізації розумової діяльності та інтересу до предмету вивчення.

ВИСНОВКИ

Впровадження інформаційно-комп'ютерних технологій у педагогічний процес вищої школи є необхідною умовою для реального підвищення якості навчання, спрямованості на підготовку фахівця здатного повноцінно реалізувати себе в умовах інформаційного суспільства. Впровадження цифрових технологій, в освітній процес, істотно прискорює передачу і засвоєння знань, сприяє підвищенню якості навчання студента, урізноманітнює його діяльність на занятті, що дає можливість майбутнім фахівцям успішно і швидко адаптуватися в сучасному суспільстві.

Таким чином, застосування інформаційно-комп'ютерних технологій і у дистанційній формі навчання є невід'ємною складовою сучасної освіти. Їх використання дає можливість підвищити якість освіти, забезпечити навчально-виховний процес, підвищити професійну мобільність, активність і мотивацію до навчальної діяльності, за яких студенти вчитимуться не тільки засвоювати знання, а й самостійно їх здобувати, використовувати отримані знання під час навчального процесу та у повсякденній діяльності.

Отже, на сьогоднішній день, дистанційна освіта швидко розвивається та вдосконалюється. Запроваджуються нові сучасні технології для того, щоб освітній процес з будь-якої дисципліни був зручним та якісним для підготовки майбутніх фахівців різних галузей.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Гуржій А. М., Поворознюк Н. І., Самсонов В. В. *Інформатика та інформаційні технології : підручник*. Харків, 2007. 352 с.
2. Козяр М. М. *Віртуальний університет : навч.-метод. посіб.* Львів : Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2009. 168 с.
3. Скуратівська М. О. *Віртуальне освітнє середовище в системі іншомовної підготовки сучасного закладу вищої освіти. Збірник наукових праць.* 2019. № 87. С. 198–204.

Сапон С.П., Космач О.П., Власюк В.А. (Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів)

ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ЯК ІНСТРУМЕНТ МОНІТОРИНГУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ

Основною концепцією верстатів нового покоління є можливість інтелектуального моніторингу та керування його вузлами. Застосування показників енергоспоживання, як інструменту моніторингу стану шпиндельних вузлів дозволяє здійснювати такий моніторинг не втручаючись в конструкцію шпиндельного вузла. В роботі представлено огляд можливостей застосування даних про споживану потужність та силу струму приводного двигуна в якості інструментів моніторингу стану та управління інтелектуальними шпиндельними вузлами.

The ability to intelligently monitor and control its components is the basic concept of the new generation of machine tools. The use of energy consumption indicators as a tool for monitoring the condition of spindle units allows such monitoring without interfering with the design of the spindle unit. An overview of the possibilities of using data on power consumption and current of the drive motor as tools for monitoring the condition and control of intelligent spindle units is presented in the paper.

Постановка проблеми. Інтелектуальні шпинделі є основними компонентами нового покоління SMART-верстатів, які розширюють їх функціональні можливості в напрямку вимірювання і локальної обробки даних про їхні параметри у відповідності до парадигми кібер-фізичних систем у рамках Industry 4.0. Основною концепцією верстатів нового покоління є можливість інтелектуального моніторингу та керування його вузлами. Відповідно створення і дослідження функціональних можливостей інтелектуальних шпиндельних вузлів найближчим часом будуть актуальними.

Інтелектуальні шпиндельні вузли передбачають інтеграцію різних датчиків, які здатні визначати динамічні характеристики, експлуатаційні параметри, стан шпинделя та процесу обробки. Особливості процесів механічної обробки різанням, конструкція сучасних високошвидкісних шпиндельних вузлів вносять певні обмеження та вимагають компактної інтеграції і оптимального розміщення датчиків, приводів, контролерів у структурі інтелектуальних шпиндельних вузлів. Застосування показників енергоспоживання, як інструменту моніторингу стану шпиндельних вузлів дозволяє здійснювати такий моніторинг не втручаючись в конструкцію шпиндельного вузла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропонована в роботі [1] енергетична модель технологічної системи операції може бути застосована як основа методики оцінки енергоефективності основних та допоміжних

процесів, що реалізуються виконавчими вузлами та системами обробних верстатів, зокрема шпиндельними вузлами також.

В монографії [2] розроблена методика функціонального діагностування енергоефективності асинхронних електродвигунів за результатами вимірювань експлуатаційних параметрів (струмів і напруг). Показано, що запропонована методика може застосовуватися в системах моніторингу, функціонального діагностування, а також для проведення порівняльної оцінки енергоефективності різних типів асинхронних електроприводів, зокрема для оцінки енергоефективності приводів шпиндельних вузлів металорізальних верстатів.

Запропонована в роботі [3] модель для оцінки і прогнозування теоретичного споживання енергії в процесі фрезерування може бути прикладом підходу для розробки моделей енергоспоживання інших процесів обробки.

Формулювання раніше невирішених частин загальної проблеми. Слід відмітити, що кожен верстат, кожен його вузол або система мають свої індивідуальні особливості. Не існує двох абсолютно однакових за всіма параметрами верстатів або шпиндельних вузлів. Це зумовлено анізотропією властивостей матеріалів, з яких вони виготовлені, розсіюванням показників точності обробки базових та виконавчих поверхонь деталей верстатів, похибками складання, умовами і режимами експлуатації тощо. Паспортні результати випробувань верстата на точність абсолютно достовірні лише в умовах, де верстат випробовувався. Ці показники в процесі експлуатації еволюціонують. Причому не всі абсолютно прогнозовано і далеко не лінійним чином. Модульний принцип компонування верстатів дозволяє комбінувати і створювати верстати під конкретні вимоги і умови обробки. Причому це повинно здійснюватись максимально швидко. Тому вкрай важливо мати максимально достовірну інформацію про стан вузла (модуля), його функціональні можливості, показники і характеристики. Відповідно для максимально точного діагностування стану вузла верстата потрібен комплексний підхід, який ґрунтується на інтеграції сигналів з різних вимірювачів та датчиків. В повній мірі це відноситься до шпиндельних вузлів, як ключового елементу в процесі формоутворення поверхонь.

Метою роботи є огляд можливостей і доцільності застосування показників енергоспоживання, таких як споживана потужність та сила струму приводного двигуна в якості інструментів моніторингу стану та управління інтелектуальними шпиндельними вузлами та процесами обробки різанням.

Відомо, що методи вимірювання динамічних характеристик та експлуатаційних параметрів шпиндельних вузлів поділяються на прямі та непрямі. Прямі методи вимірювання мають більш високу точність, тоді як непрямі методи менш складні, але більш придатні для моніторингу стану та інтеграції в системи управління інтелектуальними шпиндельними вузлами.

[4]. Існує багато непрямих методів моніторингу вібрацій, різального інструменту, стану підшипників шпиндельного вузла, точності, якості, продуктивності обробки різанням. Практично всі вони засновані на вимірюванні сил різання чи інших фізичних величин, отриманих як похідні від сил різання. Серед таких можна назвати значення струму/потужності двигуна приводу головного руху, згин/переміщення інструментів і крутний момент. Такі системи моніторингу, засновані на тому принципі, що спрацювання різального інструменту, коливання припуску і характеристик заготовки, вібрації, несправності шпиндельного вузла тощо в переважній більшості викликають збільшення відповідних складових сили різання. А поломки різального інструменту проявляються у вигляді розривів або імпульсних змін в одній або кількох компонентах сили різання [4, 5].

Регенераційні автоколивання і вимушені вібрації, зумовлені технологічним навантаженням безпосередньо впливають на якість оброблюваної поверхні, зниження терміну служби різального інструменту та експлуатаційного ресурсу шпинделя. Такі коливання зазвичай вимірюються акселерометрами, які, залежно від технологічних особливостей процесу обробки, закріплюються на заготовці або корпусі шпинделя. Вібрації та сили різання безпосередньо пов'язані. А зміна зусилля різання безпосередньо відображається на величині споживаної потужності двигуном приводу головного руху верстата. Тому вимірювання показників електроспоживання можна застосовувати для визначення зміни зусиль різання і як непрямий спосіб моніторингу та керування вібрацією та іншими процесами в технологічній оброблюючій системі.

Головна перевага моніторингу вібрацій на основі вимірювання струму або споживаної потужності двигуна полягає в тому, що метод не потребує датчиків вібрації, а вимірювальний апарат не порушує процес обробки. В роботах [6, 7] за допомогою вимірювання струму двигуна приводу шпинделя здійснювався моніторинг вібрацій в процесах фрезерування. Для покращення результатів моніторингу вібрації сигнали струму/потужності двигуна можна об'єднувати з іншими сигналами, наприклад такими як акустична емісія [8]. Незважаючи на переваги сигналів струму/потужності, важко за допомогою їх забезпечити моніторинг вібрації в реальному часі через невелику затримку в часі між появою вібрацій та отриманими сигналами. Крім того, підвищені температури, властиві електричним двигунам, змінюють сигнал споживаної потужності, що може вплинути на точність виявлення вібрацій [4].

Основною перевагою використання струму/потужності двигуна приводу шпиндельного вузла в якості показників для моніторингу стану інструменту, є те, що вони не потребують втручання в конструкцію різального інструменту, розміщення чутливих елементів в зоні різання або переривання процесу різання [9]. Зокрема в роботах [10, 11] встановлено кореляційну залежність між зносом інструменту та струмом двигуна приводу шпинделя в процесі фрезерування. Окрім зносу інструменту за струмом

двигуна приводу шпинделя можна встановити поломку інструменту [12]. В роботі [13] розроблено модель моніторингу стану різального інструменту шляхом об'єднання сигналів кількох датчиків на основі нейронної мережі. Одним із входів запропонованої моделі був сигнал струму приводу шпинделя. На користь застосування струму/потужності двигуна приводу шпиндельного вузла в якості показників моніторингу стану різального інструменту свідчить можливість сучасних систем ЧПУ надавати доступ до внутрішніх сигналів, таких як потужність двигуна та струм. Це забезпечує можливість інтеграції систем моніторингу стану різального інструменту як модулів у системи ЧПУ.

Показники енергоефективності дозволяють оцінити корисне (ефективне) використання енергетичних ресурсів технологічним обладнанням в цілому та його окремими вузлами для досягнення необхідних показників точності, продуктивності. Вибір показника енергоефективності залежить від характеру роботи обладнання, його технологічних та конструктивних особливостей тощо.

Основний показник енергоефективності – питома витрата електроенергії E_y визначається:

$$E_y = \frac{W}{n}$$

де W – повна витрата електроенергії обладнанням при виготовленні одиниці продукції, кВт год;

n – обсяг виготовленої продукції (число деталей), шт.

За коефіцієнтом корисної дії (ККД) можна визначити енергетичні витрати обладнання та його вузлів та систем. ККД електроприводу шпиндельного вузла визначають згідно виразу:

$$\eta = \frac{W_{e.\phi}}{W_{\Pi}}$$

де $W_{e.\phi}$ – споживана потужність електроенергії приводом ШВ в процесі формоутворення за цикл обробки деталі-представника, кВт год;

W_{Π} – повна споживана потужність електроенергії приводом ШВ за цикл обробки, кВт год.

При випробуваннях інтелектуальних шпиндельних вузлів, як окремих модулів технологічного обладнання, коректніше і зручніше визначати не $W_{e.\phi}$, а W_{xx} - споживану потужність електроенергії шпиндельним вузлом на холостому ходу:

$$\eta = 1 - \frac{W_{xx}}{W_{\Pi}}$$

де W_{xx} – споживана потужність електроенергії шпиндельним вузлом на холостому ході, кВт год.

Зниження ККД приводу шпиндельного вузла при незмінних умовах обробки та величинах технологічних навантажень може свідчити про зростання витрат електроенергії в режимі холостого ходу W_{xx} , коли обробка не здійснюється. Причинами цього можуть бути додаткові витрати енергії, зумовлені підвищеним тертям, граничним зношуванням, пружними коливаннями, тепловими процесами тощо.

Таким чином, енергоефективність обладнання, його вузлів та систем, процесів механічної обробки оцінюються шляхом реєстрації електричного споживання всіх можливих елементів, які впливають на показники функціонування за визначений проміжок часу, який відповідає основному та допоміжному часу на обробку заготовки певної довжини.

В науково-дослідній роботі [14] виконувались дослідження електричного споживання основних елементів прецизійного токарного верстата з шпинделем на гідравлічних опорах (рис. 1.)



Рис. 1 – Схема електричного споживання основних елементів верстата з шпиндельним вузлом з гідравлічними опорами: 1 – електрошафа верстату; 2 – електропривод головного руху (постійного струму); 3 – електродвигун примусового повітряного охолодження; 4 – електродвигун для прокачування мастильно-охолоджуючої рідини (МОР); 5 – електродвигун прискореної подачі; 6 – місцеве освітлення; 7 – електродвигун насосної установки; 8 – електродвигун теплообмінника

На рис. 2 схематично наведено споживання потужності приводом головного руху шпинделя, приводом насоса гідравлічної системи живлення шпиндельних опор, та приводом прискореної подачі при обробці.

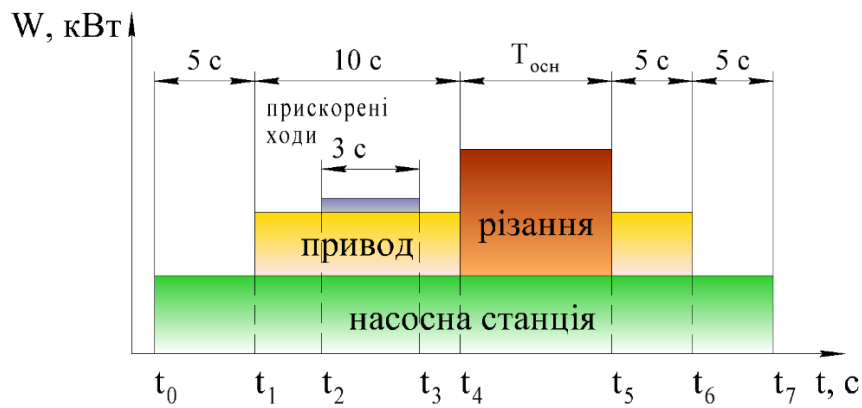


Рис. 2. – Часова діаграма споживаної потужності за цикл обробки однієї заготовки

Послідовність виконання технологічних прийомів при обробці: t_0 – початок, включається насос гідравлічної системи; t_1 – включається привод головного руху та настраюються потрібна частота обертів шпинделя; $t_2 - t_3$ – інтервал часу роботи привода прискореної подачі; $t_4 - t_5$ – інтервал часу різання (обробки) заготовки; $t_5 - t_6$ – інтервал часу роботи привода головного руху на холостому ході після обробки до відключення живлення; t_7 – відключення насоса живлення гідравлічної системи шпиндельних опор.

Зображена на рис. 2 діаграма вказує на можливість застосовувати споживану електричну потужність як інструмент моніторингу процесів в технологічній оброблюючій системі.

Проведені експерименти в режимі холостого ходу при варіюванні частотою обертання шпинделя та величиною дисбалансу дозволили встановити залежність зміни споживання електричної енергії приводом шпиндельного вузла на холостих ходах при зміні частоти обертання n та неврівноваженості $D_{ст}$ технологічного навантаження (рис. 3).

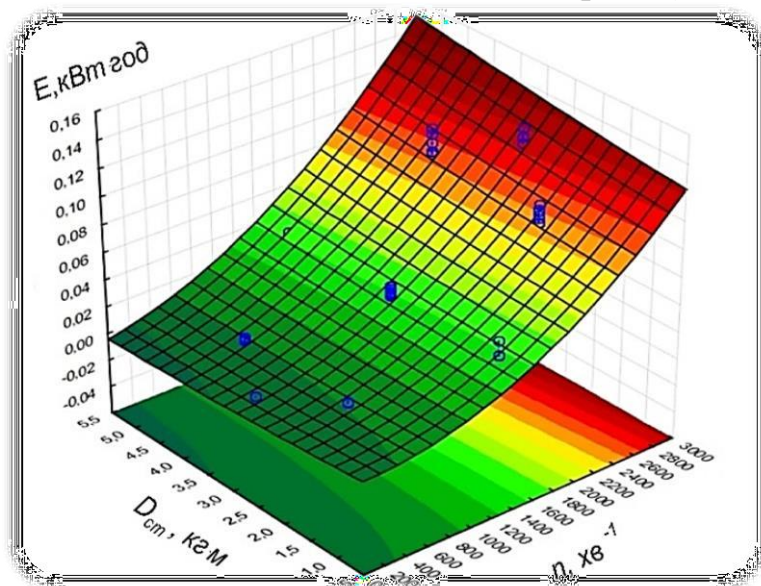


Рис. 3 – Залежність споживаної електричної енергії приводом шпиндельного

вузла від частоти обертання n та невірноваженості обертових елементів технологічної оброблюючої системи $D_{ст}$

З отриманих результатів видно, що невірноваженість обертових елементів шпиндельного вузла, яка виникає внаслідок незбалансованості заготовки, різального інструменту або пошкодження шпинделя однозначно викликає зростання електричного споживання приводом шпинделя при збільшенні частоти обертання.

При дослідженні показників енергоспоживання шпиндельних вузлів максимально потрібно враховувати окремі стадії їх роботи, які характеризують процеси енергетичних витрат. Результати багатьох досліджень показують, що підготовчі та заключні етапи роботи шпиндельного вузла складають більшу частину енергетичних витрат в умовах обробки, а в процесі різання загальні енергетичні втрати збільшуються лише на 5...20 %.

Висновки. Цифрові технології та штучний інтелект стають невід'ємною частиною машинобудування. Концепція інтелектуальних smart-шпинделів передбачає застосування вбудованих датчиків, які певною мірою обмежені конструктивними особливостями шпинделя та необхідністю мінімізувати різного роду приєднання до шпиндельного вузла. Тому вимірювання струму/потужності двигуна, як непрямий спосіб визначення експлуатаційних параметрів та динамічних характеристик шпиндельного вузла заслуговують на увагу і подальший розвиток в напрямку інтеграції із засобами штучного інтелекту, такими як штучні нейронні мережі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

4. Закладний О.О. Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем: Монографія. К.: Видавництво «Лібра», 2013. 195 с.
5. Resul Sercan Altıntaş. Modelling and optimization of energy consumption for feature based milling / Resul Sercan Altıntaş, Müge Kahya, Hakkı Özgür Ünver. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. pp. 1–19. DOI: 10.1007/s00170-016-8441-7.
6. Cao, H., Zhang, X., Chen, X.: The concept and progress of intelligent spindles: a review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 112, (2017). 21–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2016.10.005>
7. G. Byrne, D. Dornfeld, I. Inasaki, G. Ketteler, W. König, R. Teti, Tool condition monitoring (TCM) – the status of research and industrial application, *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 44 (1995). 541–567.
8. E. Soliman, F. Ismail, Chatter detection by monitoring spindle drive current, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 13, (1997). 27–34.
9. M. Lamraoui, M. El Badaoui, F. Guillet, Chatter detection in CNC milling processes based on Wiener-SVM approach and using only motor current signals, [Vibration Engineering and Technology of Machinery](#). 23, (2015). 567–578.

10. J.-S. Kwak, M.-K. Ha, *Neural network approach for diagnosis of grinding operation by acoustic emission and power signals*, *J. Mater. Process. Technol.* 147, (2004). 65–71.
11. Mohamed, A., Hassan, M., M'Saoubi, R., & Attia, H. (2022). *Tool Condition Monitoring for High-Performance Machining Systems-A Review*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(6). 2206. <https://doi.org/10.3390/s22062206>
12. Stavropoulos, P., Papacharalampopoulos, A., Vasiliadis, E. et al. *Tool wear predictability estimation in milling based on multi-sensorial data*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 82, (2016). 509–521. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7317-6>
13. D. Zhang, *An adaptive procedure for tool life prediction in face milling*, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J: J. Eng. Tribol.* 225, (2011). 1130–1136.
14. H. Liu, L. Lian, B. Li, X. Mao, S. Yuan, F. Peng, *An approach based on singular spectrum analysis and the Mahalanobis distance for tool breakage detection*, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C: J. Mech. Eng. Sci.* 228, (2014). 3505–3516.
15. N. Ghosh, Y. Ravi, A. Patra, S. Mukhopadhyay, S. Paul, A. Mohanty, A. Chattopadhyay, *Estimation of tool wear during CNC milling using neural network-based sensor fusion*, *Mech. Syst. Signal Process.* 21, (2007). 466–479.
16. *Розробка енергоефективних високошвидкісних шпиндельних вузлів на адаптивних опорах ковзання [Текст]: звіт про НДР (закл.) / Чернігівський національний технологічний університет; в.о. керівн. С.П. Сапон; викон. О.П. Космач [та ін.]. – Чернігів, 2016. – 318 с. – № д/п 0115U002362*

Сидюк Д.М., Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЖИТТЕВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

В роботі показано, що комплексне врахування допусків на заготовку, змін розміру припусків або компенсуючих ланок призводить до перерахунку усієї схеми, її структури технології виробу деталей і вузлів машин. Тому виникає потреба створення методу, який дозволить прогнозувати зміни стану об'єкта (деталі, виробу) у залежності від змін всіх внутрішніх і зовнішніх параметрів виробництва.

The paper shows that the comprehensive consideration of tolerances on the workpiece, changes in the size of allowances or compensating links leads to a recalculation of the entire scheme, its structure, the technology of manufacturing parts and components of machines. Therefore, there is a need to create a method that can predict changes in the state of the object (parts, products) depending on changes in all internal and external parameters of production.

Вимоги до параметрів продукції, виробництва і технології постійно підвищуються. Перед запуском виробу до виготовлення і експлуатації повинен бути виконаний великий обсяг підготовчих робіт пов'язаних, зокрема, з технологічною підготовкою виробництва. Від якості та глибини опрацювання проектування залежить ефективність виробництва і витрати, пов'язані з реконфігурацією і оптимізацією. Технологічна підготовка включає розмірний аналіз – це сукупність розрахунково-аналітичних процедур, що здійснюються при розробці та аналізі конструкцій і технологічних процесів [1].

До розмірного аналізу належать питання, пов'язані як з розробкою і аналізом конструкцій, так і питання, пов'язані з розробкою технологічних процесів, аналізом процесів складання – перевірка збирання складальних одиниць, вибір виду складання. Мета – забезпечити якість та технологічність виробів, отримання розмірів, припусків та граничних відхилень. Це сприяє мінімізації витрат виробництва при забезпеченні якості в життєвих циклів виробів машинобудування [2, 3]. Тому повинен проводитися комплекс робіт, що складається з:

- побудови розмірних схем ТП;
- виявлення і фіксація взаємозв'язків всіх розмірних параметрів;
- виявлення розмірних цілей та призначення обґрунтованих допусків і мінімально необхідних припусків;
- розрахунку середніх і мінімальних припусків, визначення номінальних значень операційних розмірів тощо.

Без цього проектування оптимальних технологічних процесів зводиться до укрупненого проектування на рівні типовий технології, оскільки розмірний аналіз пов'язаний з контролем точності і метрологією, пов'язаний

із забезпеченням розмірів і мінімізацією витрат (рис.1.).

Проблема розмірного аналізу пов'язана з труднощами:

- розрахунку лінійних і діаметральні конструкторських і технологічних розмірів, відхилень;
- розрахунку точності складання;
- неповною автоматизації розрахунку, необхідність побудови зображень розмірних схем, невизначеність напрямів ланок розмірної ланцюга при розрахунку технологічних розмірів;
- велику трудомісткість попередньої підготовки вихідних даних;
- самостійної підготовки даних технологом, визначаючи орієнтовні технологічні розміри, квалітет, допуски на технологічні розміри і припуски на обробку;
- встановлення розмірних зв'язків шляхом побудови лінійних розмірних ланцюгів і ланцюгів відносних поворотів;
- високою трудомісткістю розмірного аналізу через численність розмірних ланцюгів.



Рисунок 1 – Взаємозв'язок розмірного аналізу з ЖЦВ

Роль технолога полягає у забезпеченні створення й існування таких ланцюгів. Побудова граф-схем на основі розмірного аналізу дозволяє перейти до такого представлення виробу, коли спільно розглядаються конструкторські, технологічні та операційні розміри, допуски та їх квалітети. Складність її використання цього полягає у трудомісткості створення загальної схеми, яка враховує заготовку, виготовлення, складання з іншими елементами та зміни під час експлуатації.

Існуючий метод графоаналітичного розрахунку – метод відстеження за розмірним ланцюгом деталі на кожному етапі життєвого циклу. На його основі можливо оптимізувати розміри та припуски, тим самим впливати на

стан та якість деталі та поверхонь. Однак, комплексне врахування змін (допуски на заготовку, зміна розміру припуску або компенсуючої ланки) призводить до перерахунку усієї схеми, її структури. Неможливо відстежувати внутрішні фізико-механічні властивості (внутрішні напруження, поверхнева та об'ємна твердість, тріщини та дефекти). Тому виникає потреба створення методу, який дозволить прогнозувати зміни стану об'єкта (деталі, виробу) у залежності від зміни зовнішніх параметрів.

Виріб машинобудування, як частина знарядь праці, направлено на забезпечення випуску продукції. Як продукція, він забезпечує задоволення потреб споживачів.

Тому, окрема оптимізація кожного етапу не забезпечує потрібного рівня конкурентної здатності, оскільки ефект від змін не враховуються в інших етапах життєвого циклу. Тоді цільова функція процесу повинна виглядати як сума оптимізації кожного етапу з ваговими коефіцієнтами. Важливим є створення універсального комплексного методу управління життєвим циклом.

Обробка деталей за технологічними процесами, що передбачають оптимізацію життєвого циклу виробів машинобудування, повинна, на наш погляд, на верстатах з паралельною кінематикою для зменшення вартості виготовлення, зменшення часу обробки та підвищення якості виготовлення продукції.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Сидюк Д.М., Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

СИГНАТУРНИЙ ПІДХІД ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Визначено досягнення та перспективні напрямки використання сигнатурного підходу для управління життєвим циклом виробів машинобудування на підставі отримання достовірної діагностичної інформації на всіх етапах життєвого циклу виробів. Показані перспективні напрямки виконання подальших наукових досліджень, які можуть бути досягнуті в результаті використання інноваційних технологій, спрямованих на підвищення життєвого циклу виробів машинобудівного виробництва.

Achievements and perspective directions of use of the signature approach for management of a life cycle of products of mechanical engineering on the basis of reception of the reliable diagnostic information at all stages of a life cycle of products are defined. Perspective directions of further scientific researches which can be reached as a result of use of the innovative technologies directed on increase of a life cycle of products of machine-building manufacture are shown.

Якість виробу визначається як відповідність параметрів механізму вимогам технічного замовлення, так і здатністю машини виконувати базові функції протягом зазначеного часу. Від правильного технічного рішення залежить продуктивність і конкурентоспроможність виробництва.

Головною задачею технолога є забезпечення довговічності елементів механізму у межах заданих допусків з максимальною економією ресурсів. Управління довговічністю відбувається за рахунок управління технологією, а саме параметрами та об'єктами, які приймають участь у технологічному процесі. Важливим є всебічний контроль елементів механізму на стадії виготовлення, оскільки вони напряму впливають на якість складання та час експлуатації. В цьому напрямку найважливішим є забезпечення розмірних параметрів виробів машинобудування на протязі їх життєвих циклів.

Маловитратним, з боку часових, матеріальних та енергетичних витрат, є використання сигнатур об'єктів різної природи та різного призначення.

Сигнатурний підхід у визначенні параметрів цілі знайшов застосування у радіолокації, захисті програмних файлів, медицині тощо. Однак, це обмежується розпізнаванням та ідентифікацією об'єкта по групам, визначення належності до певного кластеру. Тому, постає проблема розробка методики діагностування стану об'єкта машинобудування для управління життєвим циклом виробу на підставі сигнатур об'єктів як їх власних відгуків.

На підставі попередніх пошукових робіт виконавцями окреслені напрямки перспективних пошуково-аналітичних, а також теоретичних і

експериментальних робіт для створення моделей оптимізації інноваційних технологій створення і управління життєвим циклом виробів машинобудування. Тому, дослідження здобутків вітчизняних та закордонних науковців в створенні умов, коли стан виробів при виготовленні та експлуатації пов'язаний з випромінюванням або використанням хвильових впливів різної природи є цілком актуальними.

Конкурентоспроможність виробу, як і організації, визначається не тільки параметрами якості [1] (надійність, ремонтпридатність, якість поверхонь, строк безперервної роботи тощо), але й швидкістю реагування на потреби ринку, час від складання технічного завдання до запуску на ринок, строк виготовлення 1 одиниці машини, експлуатації, утилізації [2].

Тобто, життєвий цикл виробу (ЖЦВ), як послідовність обмеженого числа етапів кінцевого за часом циклічного процесу, є основою конкурентної здатності [3] і на якість виробу можна впливати через створення системи інформаційного супроводу машини на всіх етапах його ЖЦ [4]. На основі робіт [3] запропоновані укрупнені схеми життєвого циклу деталі та виробу без урахування створення нового виробу на базі старого (рис. 1,2).

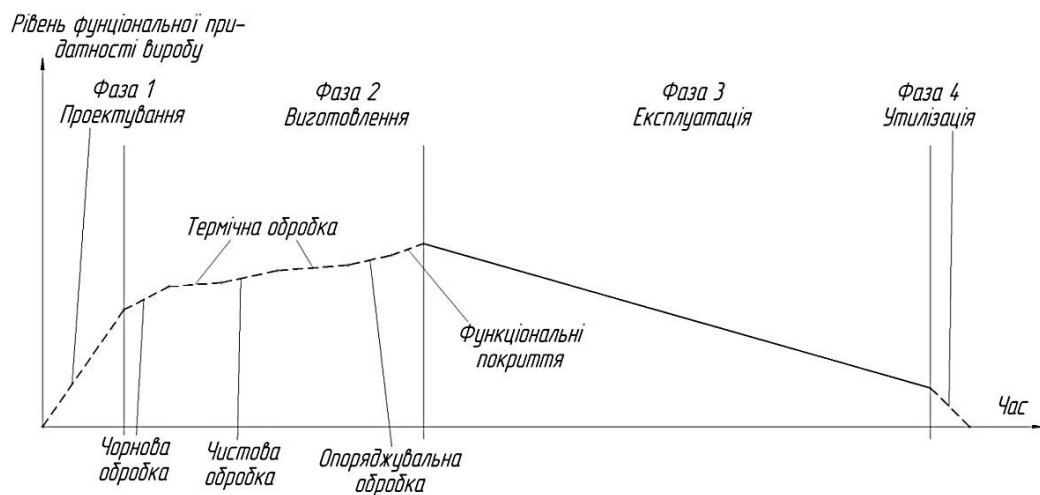


Рисунок 1 – Укрупнена схема життєвого циклу деталі

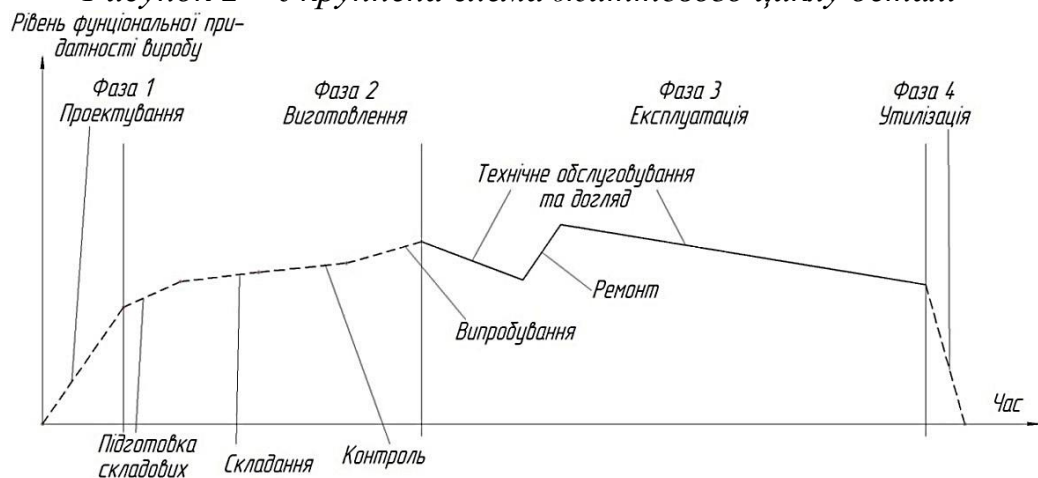


Рисунок 2 – Укрупнена схема життєвого циклу виробу

ЖЦ деталі розглядається з моменту проектування технологічного процесу до його повної утилізації. Рівень функціональної придатності формується за рахунок проектованої конструкції і ТП, а також методів та режимів механо- та термообробки. Після цього рівень лише знижується без можливості ремонту. Довжина та кут нахилу прямої визначається якістю попередніх етапів та умов експлуатації.

Фази проектування, виготовлення та утилізації повинні займати мінімум часу і забезпечувати високі показники (рівень функціональної придатності, надійність, низька собівартість, безпечна утилізація, оптимальний рівень коефіцієнту використання матеріалу тощо), а етап експлуатації низький кут нахилу. Це забезпечуватиме рівень конкурентної спроможності виробу (машини, вузла, деталі).

Життєвий цикл виробу схожий до циклу деталі – складається з 2 фаз створення умов високого рівня функціональної придатності (проектування, виготовлення), фази його зменшення (експлуатація). Однак, на відміну ЖЦД, ЖЦ виробу передбачує ремонти для повернення та підвищення рівня відносно базового варіанту після випробування.

Актуальними є методи, які дозволяють виконати комплексну оцінку стану об'єкту за різними параметрами (геометричні характеристики, шорсткість, міцність, наявність, тип і розмір дефектів тощо). До них висуваються вимоги безконтактності, швидкодії, можливості роботи у реальному часі. Прикладом може слугувати лазерна дефектоскопія, яка дозволяє знаходити поверхневі тріщини, дефекти зварних з'єднань і різьб, знос поверхні, геометричні розміри об'єкту, шорсткість тощо. Проте, такі методи мають суттєвий недолік – масивне або вартісне обладнання. Це призводить до зниження мобільності та підвищення вартості операцій контролю.

Окрім контролю стану якості деталей, існує потреба контролю складання вузлів та виробу шляхом контролю позиціонування окремих елементів розмірних ланцюгів (один відносно одного, люфти між деталями, позиціонування вузлів у корпусі тощо). Контроль виробу перед експлуатацією, тобто випробування, проводять з метою приробатування пар тертя, вимірювання вібрації, рівня шуму тощо.

Вирішити цю проблему можливо застосуванням інструментів машинного зору. Комп'ютерна обробка і розпізнавання об'єктів за допомогою механізмів формування і виведення зображень дозволяє підвищити рівень автоматизації на виробництві, виключити суб'єктивні чинники під час оцінки параметрів, зменшити ресурсомісткість операцій контролю [5].

На основі аналізу численних робіт була обрана ідентифікація об'єктів

машинобудування за їх сигнатурами. Сигнатура – набір характеристик відбитого від цілі сигналу та прийнятого засобом спостереження. Для того, щоб ідентифікувати (чи аутентифікувати) об'єкт, потрібно порівняти його з еталоном або системою зразків. У машинобудуванні певний тип інформації (зразки металу до та після обробки, зразки структур після обробки та нанесення функціональних покриттів тощо), зберігаються у вигляді фотографій, оскільки відтворення їх у реальному житті ресурсоємне.

Сигнатури, у загальному розумінні, знайшли застосування майже у кожній сучасній галузі, яка пов'язана зі слідкуванням, спостереженням, захистом на основі методів ідентифікації об'єктів [6]. Дійсно, оскільки, у будь-якій машині присутні вібрації, за амплітудно-частотними характеристиками котрих можна здійснювати діагноз працездатності машини, її стану і, при необхідності, призначити ремонт. Це полегшує процедуру профілактики і попередження відмов, раптовий характер яких є частою причиною серйозних аварій з важкими наслідками. Патенти [7, 8] доводять можливість безконтактного зняття розмірів металів за допомогою збудження та визначення резонансної частоти деталі.

Також, дефекти деталей (від підшипників до з'єднань з натягом) мають вплив на гармонійні складові частотного спектру генерованих ними вібраційних процесів. Ці гармонійні складові змінюються з ростом дефектів [9, 10]. Вузли і машини також діагностуються за допомогою віброакустичного сигналу та аналізу сигнатур. Це дозволяє підвищити надійність механізму зі зниженням собівартості операції, пов'язаної з відмовою від розбирання для візуального контролю якості монтажу [11, 12]. Така методика допомагає діагностувати первинний стан вузлів за допомогою спектру вібрацій [13].

Основні вимоги полягають у забезпеченні цілісності матеріалу після контролю; простота створення збуджуючого сигналу; відсутність додаткового впливу на стан об'єкту.

Обробка сигнатур різного походження та прогнозування стану надходжуваного об'єкту може виконуватися за допомогою нейросимуляції на основі багатовимірної апроксимації даних.

Вибір технологій і методів контролю якості, організація роботи і навчання, оцінка ефективності контролю є невід'ємними складовими забезпечення рівня та управління елементами ЖЦВ згідно запропонованої концепції (рис. 3).

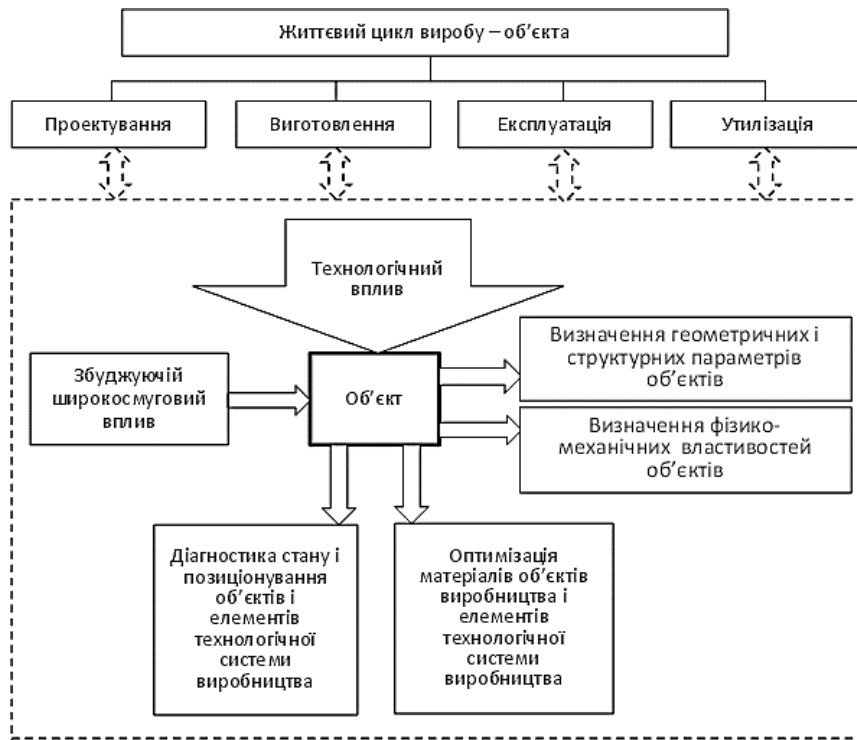


Рисунок 3 – Концепція ЖЦВ

Реакції навколишнього середовища, викликані технологічними впливами на об'єкт несуть у собі інформацію про геометричні та структурні параметри, фізико-механічні властивості об'єкту. Тому, під дією збуджуючого впливу цю інформацію можна отримати інформацію щодо поточного стану як виробу машинобудування, так і елементів технологічної системи (ріжучий інструмент, оснастка, верстат). Така інформація є основою оптимізації матеріалів об'єктів виробництва, та етапів ЖЦВ (проектування, виготовлення, експлуатація).

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO 9004:2018. Управління якістю. Якість організації. Настанови щодо досягнення сталого успіху. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 68 с.

2. Пат. 100072 Україна. G01B 7/02. Спосіб безконтактного контролю розмірів деталей. Ковалевський С.В., Тулупова К.В. ДДМА.2015.
3. Пат. 100097 Україна. G01M 13/00, G01N 29/1. Спосіб контролю розмірів деталі за допомогою сигналу резонансних коливань. Ковалевський С.В., Нагієва А.І., Ковалевська О.С. ДДМА.2015.
4. Заміховський Л.М., Паньків Ю.В. Вібраційний контроль технічного стану вузлів відцентрових насосних агрегатів систем підтримання пластового тиску. Методи та прилади контролю якості. 2011. № 27. С. 33-38.
5. Знайдюк В.Г., Островський О.С. Діагностика технічного стану швидкохідних барабанів. Машинобудування. 2013. № 11. С. 8-13.
6. Чепурний Ю.В., Мартинець Б.З. Метод діагностування газотурбінного двигуна по прямому спектру вібрації. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2019. №2 (60). С. 153-158.

Соколова О.А., Вислоух С.П. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

ДО ПИТАННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Надано класифікацію промислових роботів та узагальнену їх функціональну схему. Приведено перелік похибок промислового робота, що виникають ще з моменту закладення його конструкції. Розглянуто та проаналізовано методи забезпечення точності промислових роботів. Запропоновано найбільш доцільний метод керування роботом - на основі штучних нейронних мереж.

The classification of industrial robots and their generalized functional scheme are given. The list of errors of the industrial robot arising from the moment of laying of its design is resulted. Methods of ensuring the accuracy of industrial robots are considered and analyzed. The most expedient method of robot control is offered - on the basis of artificial neural networks.

В сучасному світі широко використовуються промислові роботи (ПР) та маніпуляційні роботи (МР) для виконання широкого спектру технологічних завдань, таких як переміщення предметів різної ваги, зварювання, сортування за різними ознаками тощо.

Еволюція нанотехнологій постійно висуває нові вимоги до ще більшої точності та повторюваності ПР. Проте роботи не завжди забезпечують необхідну жорсткість та наразі не здатні забезпечити мікронну точність та надвисоке позиціонування.

Розвиток робототехнічної індустрії та нанотехнологій показує, що традиційні методи роботизованих комплексів стають все більш малоефективними для вирішення важливих практичних завдань. До них відносять медичні маніпуляції, космічні технології, а також технологічні процеси обробки деталей складної геометрії та формування цих поверхонь робочим інструментом тощо.

Одним з варіантів вирішення проблеми точності є аналіз похибок, які можливо та неможливо усунути та які впливають на точність позиціонування роботів та використання більш досконалих методів керування ПР, що дозволять враховувати усі зовнішні збурення та компенсувати конструкційні та виробничі похибки.

Таким чином, метою даної роботи є дослідження методів забезпечення точності позиціонування вихідної ланки за виконання рухових функцій ПР та вибір найбільш раціонального.

Промислові роботи – це програмовані механічні пристрої, що використовуються для виконання складних, небезпечних та повторюваних завдань з великою точністю. Узагальнена функціональна схема

промислового робота представлена на рисунку 1. Найбільш розповсюдженою схемою класифікації ПР є [1]:

- за характером виконуваних технологічних операцій;
- за видом виробництва;
- за системою координат руки маніпулятора;
- за вантажопідйомністю;
- за типом силового приводу;
- за видом програми;
- за характером керування тощо.

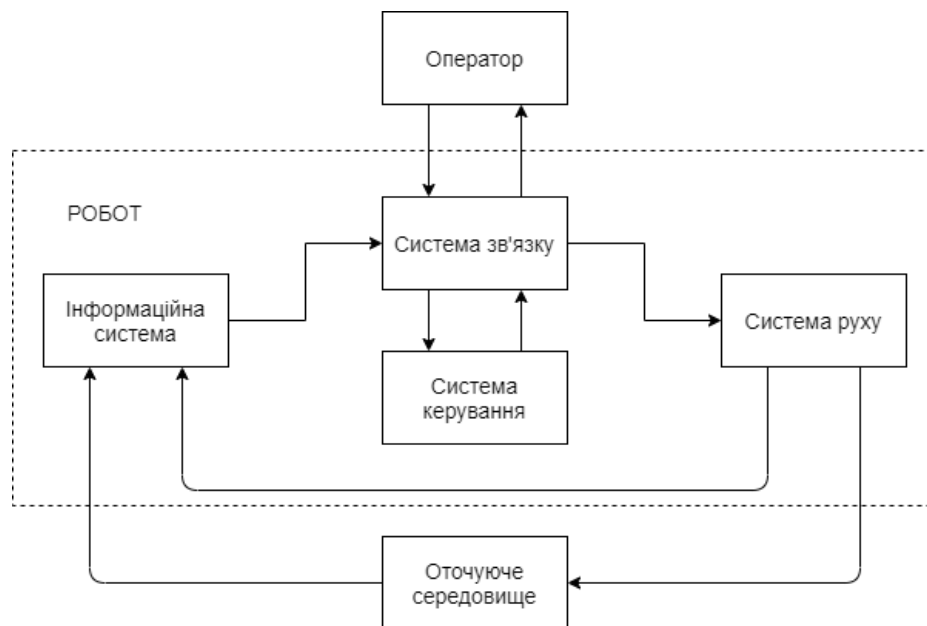


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема промислового робота.

Проте для більшого розуміння ПР їх краще поділити на три основні категорії, що містять свої підвиди [2]:

- **Автоматичні ПР.**
 - Програмні. Дана реалізація є дешевою, оскільки програмується сталою програмою, не має на собі сенсорів та використовується для простих операцій.
 - Адаптивні. Даний вид має сенсори та ряд програм, що дозволяють ПР аналізувати ситуацію та приймати рішення в залежності від зовнішнього середовища, але в межах закладеної програми. Є більш точними порівняно з програмними.
 - Навчанувані. Такі ПР мають здатність навчатися, тобто виконувати певні дії в залежності від попереднього навчання. Наприклад, створюється порядок дій, що закладається у блок керування робота.
 - Інтелектуальні. Подібні роботи у якості керуючої програми мають штучну нейронну мережу (ШНМ) та можуть сприймати зовнішнє середовище за допомогою сенсорів, а не людей. Є комбінацією адаптивних ПР та тих, що навчаються. Основна відмінність – промисловий робот при

приймає рішення самостійно та не має заздалегідь прописаного сценарію поведінки.

- Біотехнічні ПР.
 - Командні. Подібні роботи-маніпулятори дистанційно керуються оператором.
 - -Копірувальні. Даний вид маніпуляторів копіює задану поведінку оператора в заданий момент часу.
 - Напіваавтоматичні. Для керування оператору необхідно задати тільки переміщення органу маніпулятора, а далі система сама прорахує необхідні рухи та за необхідності скоригує їх.
- Інтерактивні ПР.
 - Автоматизовані. Це роботи, де чергуються режими автоматичного керуванського процесу з біотехнічними.
 - Супервізорні. Такі ПР виконують роботу автоматично за заданим циклом, однак переміщення від одного етапу до іншого виконується за командою оператора.
 - Діалогові. Автоматичні роботи, що взаємодіють з оператором, використовуючи мову певного рівня. Наприклад, команди голосом.

Незважаючи на велику кількість типів роботів у них є перелік спільних похибок, що можуть та не можуть бути усунені:

- геометричні похибки;
- теплові похибки;
- похибки, викликані дією сил тяжіння;
- похибки системи керування;
- похибки сенсорів;
- похибки приводів;
- похибки, викликані зовнішніми збудженнями (вібраціями верстатів, зміною температури оточуючого середовища тощо).

Точність роботів визначається похибками позиціонування та похибками кутової орієнтації. Похибки позиціонування визначаються похибками сенсорів та системи керування, технологічними відхиленнями розмірів ланок маніпулятора, зазорами у кінематичних парах маніпулятора, температурними та пружними деформаціями ланок тощо [3].

Основні показники точності ПР представлено на рисунку 2.

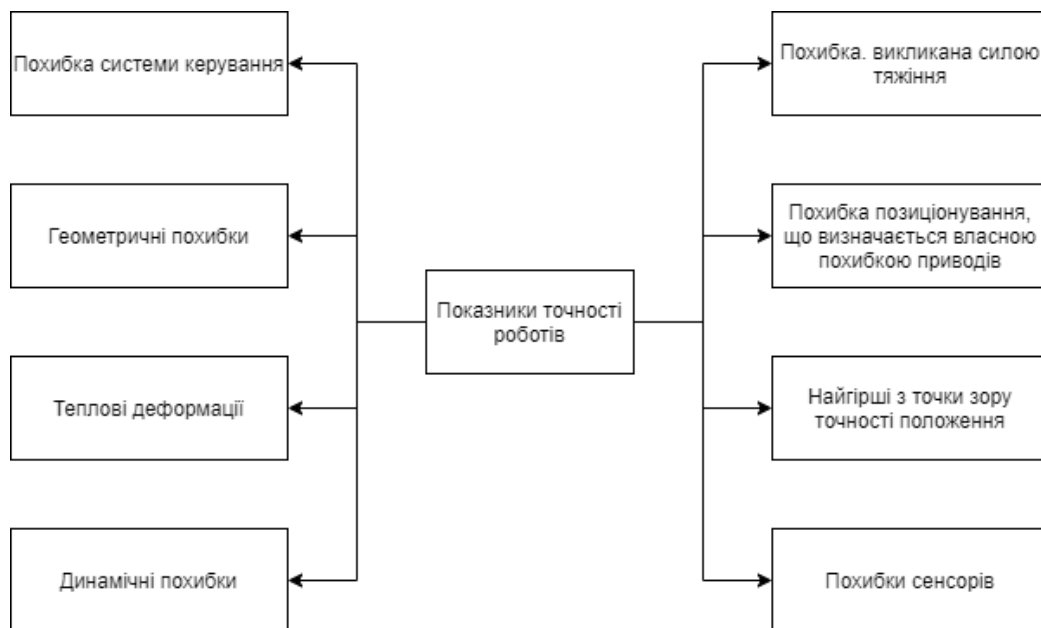


Рис. 2. Показники точності роботів.

Методи забезпечення точності промислових роботів.

1. Першим та найбільш дієвим методом на перших етапах є уточнення рішення прямої та оберненої задач кінематики, що дозволяє розрахувати похибку позиціонування центру рухомої платформи. Для вирішення прямої задачі кінематики необхідно знати точні геометричні параметри робота, а для зворотної – траєкторію руху платформи.

2. Для визначення раціональної структури та параметрів ПР одними з ефективних методів підвищення точності є застосування методів структурного та параметричного синтезу.

3. Також для зменшення температурних деформацій є використання системи охолодження ПР, що запропоновано Притшоу [4], а Селлгрєн [5] продемонстрував, що внутрішнє охолодження робота може зменшити похибку зміни довжини опори на 50%.

4. Для покращення алгоритму та процедури калібрування використовуються різні методи та процедури, наприклад, метод найменших квадратів. Проте визначальний фактор мають шуми вимірів, що виникають в процесі калібрування та можуть призвести до результатів, коли рівняння моделі не можна вирішити, або модель буде задовольняти не усі обмеження системи. До того ж калібрування дуже чутливе до вибору положення робота, в якому вона виконується. Прийнято, що оптимальним є вибір положення поблизу границі робочого простору.

5. Використання більш досконалих двигунів. Найчастіше використовуються наступні двигуни: синхронні і асинхронні двигуни та крокові двигуни.

Асинхронні двигуни гірше функціонують в умовах роботи зі змінним струмом, аніж з постійним, оскільки рушійний момент залежить не тільки від струму в статорі, а також від швидкості обертання валу, а струм, що індуковано в роторі, регулювати важко. Проте двигуни постійного струму також мають недоліки – велика маса. Потужність та обертовий момент таких двигунів на одиницю маси дуже малі, а знизити масу не можна, оскільки вона визначається більшою частиною несучої конструкції.

Перевагами синхронних двигунів є те, що магніти розташовано в роторі, а обмотки – в статорі; замість системи колектор-щітка використовується надійний електронний пристрій комутації, в якому полегшено відведення тепла. Недоліком же є те, що їх рухомий момент сильно змінюється через невелике число фаз.

За конструкцією крокові двигуни є синхронними двигунами та мають усі їх недоліки та переваги. Проте перед іншими синхронними двигунами крокові двигуни мають перевагу у високій точності перетворення цифрового електричного сигналу у дискретні кутові переміщення ротора; двигун за кожний імпульс обертається на певний фіксований кут; можуть забезпечити маленький крок (до 400 кроків на один оберт – гібридні крокові двигуни); можуть забезпечити високу точність частоти обертання.

Система керування, що використовується у крокових двигунах, також має суттєві переваги перед іншими приладами, що виконують ті самі або схожі функції. Наприклад, відсутнє накопичення похибок положення; крокові двигуни сумісні із сучасними цифровими приладами; відсутній зворотній зв'язок, що зазвичай є необхідним для керування розташуванням або частотою обертання.

6. Вибір більш доцільного методу керування. Добре підібраний метод керування дозволяє компенсувати більшу частину похибок, що виникають при конструюванні, виготовленні та експлуатації ПР.

Існують різні класифікації способів керування. Найпоширенішими є:

Класифікація за способом керування [6]:

- програмні. Керування виконується за заздалегідь прописаною програмою.
- адаптивні. Керування реалізується у функції від інформації про поточний стан та зміни у навколишньому середовищі та самого робота, що отримується в процесі керування від сенсорних пристроїв.
- інтелектуальні. Адаптивні властивості розвинуті до рівня, що відповідає інтелектуальній діяльності людини.

По мірі участі людини-оператора в процесі керування розрізняють автоматичне, автоматизоване та ручне.

За типом руху виконавських систем бувають безперервні (контурні), дискретні, позиційні (кроками «від точки до точки») та дискретні циклові (з кроком по кожній координаті) способи керування.

За керованими змінними розрізняють системи керування позицією, системи управління моментом та системи керування швидкістю.

Системи програмного керування роботів первинно були запозичені з систем ЧПК технологічного устаткування, проте промислові роботи значно складніше, аніж, наприклад, верстати, перш за все через те, що мають більшу рухливість та зв'язність усіх ланок. Системи програмного керування роботами ґрунтуються на найбільш простому методі керування без зворотного зв'язку без урахування зміни стану зовнішнього середовища, з яким взаємодіє робот. Таким чином системи керування даного типу можливо застосовувати тільки за повністю детермінованих та незмінних протягом усього процесу керування зовнішніх умовах роботи, а також параметрах самого робота та його призначення (основної функції).

Адаптивне керування зазвичай представляється як функція параметрів зовнішнього середовища, завдяки чому можливе також забезпечення досягнення мети керування за непостійних або неповних апріорних даних про ці параметри. Такі системи керування можуть використовуватися на ПР для захоплення довільно розташованих або рухливих предметів завдяки наведенню на них захоплюючого пристрою; вибір і захоплення предметів з ряду інших за певними ознаками (розмір, форма, колір тощо); уникання непередбачених перешкод тощо. Виконання такого роду задач передбачає використання сенсорних пристроїв. Для більшої точності розпізнавання та позиціонування сенсорні пристрої повинні мати високу роздільну здатність та стійкість до забруднень. Також прикладом системи адаптивного керування є система керування промисловим роботом для дугового зварювання тощо.

Інтелектуальне керування є більш досконалим та складним методом керування порівняно з адаптивним. Під інтелектом розуміється загальна, в основному природжена пізнавальна здатність, включаючи уміння оброблювати інформацію про навколишнє середовище з побудовою її моделей та використовувати отриману інформацію для планування поведінки в умовах явної неповноти інформації та зовнішньої обстановки, зміни якої цілком непередбачувані. Принципова відмінність інтелекту штучного та природнього полягає у тому, що перший імітує природній інтелект тільки в частині рішення певного типу творчих завдань, тоді як природній більш досконалий та універсальний. Серед типових завдань штучного інтелекту є,

наприклад, ігрові, переклад з однієї мови на іншу, редагування помилок у тексті і інші подібні завдання, де перебір варіантів не є можливим. Створення моделі людського мозку та розгадка процесу мислення – це фундаментальна проблема штучного інтелекту [7].

Для створення штучних нейронних мереж для області робототехніки використовується підхід близький до евристичного і полягає в поступовому накопиченні приватних евристичних знахідок для вирішення окремих конкретних задач. Передбачається, що сума таких часткових рішень з їх накопиченням підвищить рівень штучного інтелекту, що призведе до більшої точності його рішень.

Між системами інтелектуального та адаптивного керування немає різкої межі. Інтелектуальні системи є результатом розвитку адаптивних систем у сенсі розширення можливостей автономного виконання більш складних та комплексних задач у невизначеному середовищі і за все більшої неповноти інформації, що вимагається для виконання цих задач.

Більшість параметрів задаються ще на етапі конструювання промислового робота та в більшості випадків не можуть бути змінені в процесі його експлуатації. Калібрування, наприклад, проводиться за певними алгоритмами. Зазвичай, калібрування проводиться коли накопичилася похибка. Зазвичай найпростішим методом є повернення робочого органу в «нульову» позицію.

Системи керування також можна змінювати за мінімальних змін самого ПР. Вибір найбільш прийнятної системи керування дозволяє зменшити похибки, що виникли на етапах конструювання та виробництва. Також в процесі експлуатації виникає зовнішній збурюючий вплив, який складно передбачити заздалегідь, тому на виробництвах частіше використовують адаптивне або інтелектуальне керування. Адаптивне використовуються, коли усі зовнішні впливи можливо передбачити заздалегідь та врахувати при програмуванні. Проте частіше за все присутні також збурюючі впливи, які неможливо передбачити та врахувати, або їх забагато, тож створювати адаптивну систему керування занадто дорого та відгук програми буде значно довший. За такого випадку розробляються інтелектуальні системи керування, що дозволяють забезпечити необхідну точність та швидкість відгуку програми.

Таким чином, точність позиціонування ПР в робототехніці є однією з найважливіших проблем. Навіть зараз вони використовуються у багатьох галузях, таких як машино-, літако-, ракето- та приладобудування та інших областях промисловості. Розповсюдження ПР та МР дозволить підвищити якість продукції, а також висуває нові вимоги до їх точності та

відтворюваності. Проте високоточні «з заводу» роботи мають високу ціну, тому багато виробництв не можуть їх собі дозволити. А отже, необхідно обрати той вид нівелювання похибки, що не потребуватися високоточних деталей та складання, та не залежатиме від кінематичної структури робота тощо. Тому найбільш доцільним є вибір інтелектуальний метод керування, що зазвичай базується на ШНМ, для вирішення складних завдань, де зазвичай неможливо передбачити усі впливи на систему, а також якщо інформація з навколишнього середовища мінімально повна, або її взагалі немає. Це дозволить за менших обчислювальних потужностей забезпечити необхідну точність позиціонування за виконання складних операцій.

Перспективами подальших досліджень є розроблення методу підвищення точності позиціонування промислових роботів на базі штучних нейронних мереж із застосуванням чисельних методів для оптимізації вибору структури мережі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1.Промисловий робот – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Промисловий_робот (дата звернення: 30.05.2022).
- 2.Pritschow, G. Influence of the dynamic stiffness on the accuracy of PKM / G. Pritschow, C. Eppler, T. Garber // In 3rd Chemnitzer Parallelkinematik Seminar, Chemnitz, April, 23-25, 2002. – P. 313–333.
- 3.Sellgren U. Modeling of mechanical interfaces in a systems context / U. Sellgren // In Int. ANSYS Conf., Pittsburgh, April 2002.
- 4.
5. Лусенко С. М. Напрямки досліджень і розвитку комп'ютерної інженерії : курс лекцій. Київ, 2021. 142 с. URL: <https://msn.khnu.km.ua/course/view.php?id=3757>.

Трембач І.О. (Україна, м. Краматорськ, ПрАТ «НКМЗ», ДДМА), **Гринь О.Г.** (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

МУЛЬТИФАЗНА СТРУКТУРА МАНГАНОВОЇ СТАЛІ – ЗАПОРУКА ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

Показано, що головною причиною виходу із ладу деталей зі сталі 110Г13Л є зношування. Структура стабільного аустеніту призводить до низької зносостійкості в умовах абразивного зносу. Важливим і перспективним напрямком сучасного матеріалознавства є створення матеріалів з структурою метастабільною аустенітною та аустенітно–карбідною структурою, що дозволяє підвищити зносостійкість в умовах абразивного зносу.

It is shown that the main reason for failure of steel parts 110G13L is wear. The structure of stable austenite leads to low wear resistance under abrasive wear. An important and promising area of modern materials science is the creation of materials with a structure of metastable austenitic and austenitic-carbide structure, which allows to increase wear resistance in abrasive wear.

Високоманганова аустенітна сталь 110Г13Л широко застосовується у машинобудуванні для виготовлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного та ударно-абразивного зносу [1].

Це обумовлено її унікальними властивостями, зокрема, високим опором поверхонь в деформованому стані абразивного зносу в поєднанні з високою пластичністю та міцністю.

Здатність сталі Гадфільда зміцнюватися під впливом ударних навантажень робить її в ряді випадків практично незамінною для виготовлення деталей, що працюють при інтенсивних динамічних навантаженнях.

При експлуатації [1] виливків зі сталі 110Г13Л спостерігається суто абразивний знос (зуб ковша екскаватора, знімальний жолоб, шнек пилу), ударно-абразивний знос зі значними ударними навантаженнями (броня, конусні і щоківі дробарки, кульові млини), абразивно-ударний знос з малими ударними навантаженнями (ножі бульдозера, жолоби під щоківими дробарками).

Аналіз експлуатації зносостійких виливків зі сталі 110Г13Л [1], незважаючи на різні умови їх роботи, показує, що головною причиною виходу їх з ладу є зношування в процесі стирання при зіткненні з абразивним матеріалом. Збитки від простоїв устаткування внаслідок зносу окремих деталей та витрати на його ремонт можуть перевищувати вартість деталей. Правильний вибір сплавів для виготовлення деталей, які піддаються інтенсивному зносу, визначає економічну ефективність і тривалість роботи того чи іншого устаткування.

Недостатня зносостійкість стабільного аустеніту сталі 110Г13Л призводить до необхідності застосування для умов зношування закріпленим і напівзакріпленим абразивом комплексної матриці, що містить аустеніт і мартенсит. Визначення оптимального співвідношення фаз мартенсит/аустеніт залежить від кількості й властивостей твердої фази, а також від наявності та величини ударного навантаження. Чим воно більше, тим більше в сплаві повинно бути аустеніту. При цьому рекомендується, щоб мартенсит був низьковуглецевим. Це пов'язане з тим, що поверхня такого матеріалу має високу опірність абразивному зношуванню, а наявність в'язкої аустенітної серцевини забезпечує відсутність тріщин і відколів металу [2].

Одним з найважливіших напрямків сучасного матеріалознавства є створення матеріалів з метастабільними структурами, які є синергетичними системами [3, 4].

До синергетичних систем з повною підставою можна віднести сталі з метастабільним аустенітом. Найбільш важливу роль в адаптації та формуванні їх властивостей грають динамічні мартенситні перетворення та (або) двійникування, що протікають при навантаженні, а також структурні зміни: утворення дефектів упаковки, збільшення щільності дислокацій, подрібнення зерна, формування субструктури, динамічне старіння [4].

В середині 50-х років минулого століття І. Н. Богачевим та Р. І. Минцем висловлена і реалізована надзвичайно плідна ідея [5], суть якої полягала в використанні мартенситних перетворень не до зміцнюваної обробки сталей з метастабільним аустенітом, як це було зазвичай прийнято, а при навантаженні в процесі випробувань механічних властивостей і експлуатації.

Цим була визначена [5] нова область використання метастабільного аустеніту для підвищення опору поверхні матеріалів контактному динамічному навантаженню, яке реалізується при механічних видах зношування, зокрема, при абразивному зносі.

Аналіз літературних джерел [6-8] свідчить, що високу зносостійкість в умовах абразивного зношування показують матеріали з нестабільною аустенітною, аустенітно-карбідною структурою, а також зі структурою мартенситу з нестабільним аустенітом. Зносостійкість металу залежить також від типу і кількості карбідної фази, карбоборидів, нітридів заліза. Легований аустеніт за міцністю посідає проміжне місце між феритом і мартенситом, має значну в'язкість, близькі параметри ґратки з карбідною фазою, що сприяє кращому закріпленню карбідів в основі матеріалу, тим самим підвищує ударно-абразивну зносостійкість [2].

Збільшення зносостійкості сталей зі структурою метастабільного аустеніту знайшло достатнє обґрунтування з позицій енергетичної теорії в роботі В.С. Попова зі співробітниками [8]. Трансформація структури контактної поверхні деталі, що зношується, здійснюється в результаті передачі їй енергії від часток абразиву або від абразивного тіла. Руйнування

починається коли в локальному обсязі контактної поверхні відбувається поглинання енергії граничної величини, яка визначається силами зв'язку в металі, що зношується і енергоємністю фазово-структурних перетворень. Перетворення $\gamma \rightarrow \alpha$ відбувається по мартенситному механізму, що здійснюється в приконтактно-поверхневому шарі при зношуванні, не вимагає дуже великих витрат енергії, воно відіграє суттєву роль в підвищенні зносостійкості сплавів [9].

Утворення мартенситу деформації призводить до появи внутрішніх напружень стиску в контактно-поверхневому обсязі металу, охопленому мартенситним перетворенням. На їх релаксацію збільшується споживання енергії абразивного взаємодії, в результаті чого знижується загальна витрата енергії на утворення в контактно-поверхневому шарі сталі ячеїстої дислокаційної субструктури з грубими межами, а також на подальший розвиток мікро- і макротріщин, що викликають руйнування металу. Це і служить причиною підвищення зносостійкості сталі [9].

В процесі мартенситних перетворень, що протікають при навантаженні, відбувається не тільки зміцнення, що було загальновідомо, але і релаксація напружень, що забезпечує підвищену працездатність мікрооб'ємів металу. Крім того, на розвиток деформаційних перетворень витрачається значна частина енергії зовнішнього впливу, і, відповідно, менша її частка йде на руйнування [10].

Перспективним є науковий напрямок, згідно з яким для підвищення механічних і службових властивостей сплавів різних класів і призначення в них необхідно створювати багатофазну структуру, в якій поряд з такими складовими як мартенсит, бейніт, ферит, карбіди, карбонітриди, інтерметаліди та інші, повинен бути отриманий метастабільний аустеніт, що зазнає мартенситні перетворення при навантаженні. Важливо управляти його кількістю та стабільністю [3, 4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонюк Д. А. Зносостійкість матеріалів в умовах зношування напівзакріпленим абразивом з локальними ударними навантаженнями та заземленням часток / Д. А. Антонюк, М. О. Редька // *Проблеми трибології*. – 2012. – № 3. – С. 87-93. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2012_3_16

Третяк В. В., Ряполов В. Д., Приходько С. О., Шульга М. О. (м. Харків, НАУ (ХАІ))

ПРОГРАМНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ПРЕС-ГАРМАТІ

В статті розглянуті питання використання імпульсних технологій для виготовлення деталей авіаційних двигунів - штампування складних листових деталей на прес-гарматі. Представлена конструкція прес-гармати. Проаналізовані переваги і недоліки імпульсного метода штампування. Наведена екранна форма розробленої програми і результати технологічних розрахунків. Наведена екранна форма результатів розрахунків дисперсійного і регресійного аналізів залежності роботи від товщини заготовки на першому переході.

In article considered questions of the use of impulsive technologies for making of details of aviation engines - punching of difficult sheet details on press-cannon. Presented construction of press-cannon. Analysed advantages and disadvantages of the impulsive punching. Resulted screen form of the developed program and results of the technological computations. Also, attached screen form of computation results and regressive analyses of variance of dependence of work from the thickness of purveyance on the first transition.

В конструкції авіаційних двигунів немало досить складних листових деталей, які потрібно виготовлявати з високоміцних матеріалів з високою ступінню точності. Такі деталі або отримати досить складно і не економічно, або їх зовсім не можливо виготовити на традиційному обладнанні.

В свій час [1] в ХАІ було розроблено обладнання і технології, які не втрачають необхідності і в теперішній час [2]. Для виконання складних технічних умов потрібні точні розрахунки технологічних параметрів. Справа в тому, що високі навантаження в досить малий час (мікро або мілі секунди) деформують заготовку досить складно. З'являються проблеми з утриманням стійкості заготовки і деформаційне поле має дуже складний характер.

Тому використання імпульсних технологій потребує необхідних розрахунків і в прямій, і в зворотній задачах технологічних розрахунків.

Прес-гармата є поєднанням гармати (енергетичного вузла) з пресовим оснащенням (енергетичним вузлом).

Процес гідродинамічного штампування; ґрунтується на наступних принципах:

- явища гідродинамічного удару, що виникає в рідині при передачі їй кінетичної енергії твердого тіла (снаряда), що володіє швидкістю 50...250 м/с;
- ефекті самовільного замикання зазорів при імпульсному підвищенні тиску в неущільненій формуючій камері.

На рис. 1 показана схема пристрою для штампування на пресс-гарматі.

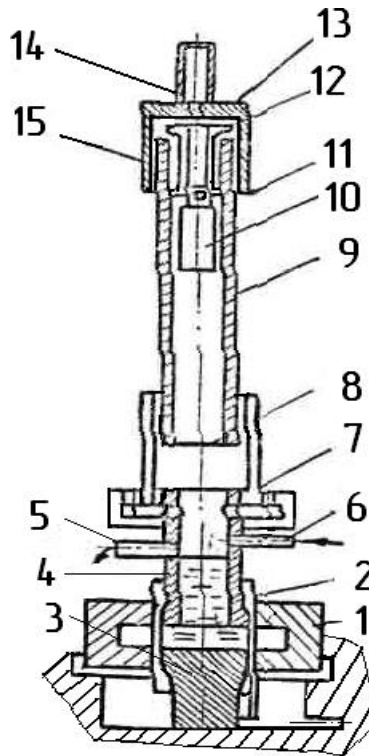


Рис. 1. Схема пристрою для штампуванні на пресс-гарматі

Характерними особливостями цього пристрою є:

- наявність між оброблювальним інструментом (снарядом) і оброблюваною деталлю пружного передаючого середовища (рідини);
- відсутність у формуючій камері яких-небудь ущільнень взагалі або наявність тільки ущільнень, що утримують рідину від перетікання в порожнину між заготовкою і матрицею (до пострілу).

Основні елементи конструкції пресс-гармати: матриця 1, заготовка 2, обмежувач процесу формування труб 3, передаюче середовище 4, перехідник стовбура 7 із зливним 5 і наповнюючим 6 штуцерами. Ця група елементів складає технологічну зону пристрою. Енергетичний вузол складається із стовбура 9, снаряда 10, патронника 12 і фіксуючого зв'язку 11 (на схемі є показаний у вигляді штифта, що зрізається при пострілі), заряду порошу 13 і пускового механізму 14, змонтованого на затворі 15.

Технологічний процес штампування полягає в наступному. В матрицю 1 встановлюють заготовку 2, порожнину заготовки і перехідник стовбура 7 наповнюють рідиною 4 через штуцер 6. За відсутності ущільнень рідина у формуючу камеру подається безперервно, що забезпечує живлення зазорів і підтримку її рівня, визначуваного положенням зливного штуцера 5.

При пострілі тиском порохових газів снаряд 10 зривається з форсуючого зв'язку 11 і розгониться в каналі стовбура. Снаряд, що має запас кінетичної енергії, входить в перехідник стовбура 7 і завдає удару по рідині 4. В рідині виникає тиск, що впливає на заготовку 2, яка деформується і набуває форму готової деталі. Сама прес-гармата є напівавтоматичною установкою, тому в її комплект входять системи управління - гідравлічна і електрична, які, взаємодіючи, забезпечують роботу прес-гармати в ручному і напівавтоматичному режимах по строго певному наперед заданому циклу.

Всі агрегати і елементи систем управління розташовані в пульті, за винятком виконавчих гідроциліндрів і кінцевих вимикачів, що входять в конструкцію прес-гармати. Подача рідини у формуючу камеру здійснюється за допомогою спеціальної системи. Вода нагнітається помпою з бака, розташованого в нижній частині підстави. В конструкції прес-гармати допускається використання зарядів до 15...18 г, що відповідає кінетичній енергії снаряда 2,3...2,7 кДж. Її споживана енергія - 2 кВт, напруга в мережі - 380 В, тиск в гідросистемі - 3,5...6,0, МПа.

Для здійснення процесу штампування необхідно розрахувати заряд порошу на першому і другому переходах по спрощеній методиці, що дозволяє знайти зразкову величину заряду, яка потім коректується експериментально за допомогою одного-двох пострілів. Потрібний тиск визначається при встановленні залежності, що зв'язує зовнішні сили з головними напруженнями і деформаціями для утворення найхарактерніших геометричних форм. Ця залежність встановлюється на підставі положень теорії пружно-пластичної деформації тонкостінних оболонок яровини наступних допущеннях:

- тиск з боку передаючої середовище на заготовку рівномірно розподілене;
- напружений стан можна рахувати безмоментним площинно-напруженим у зв'язку з тим, що заготовка достатньо тонка;
- матеріал заготовки однорідний, нестискуваний, володіє рівномірними механічними властивостями по товщині і площі.

Зв'язок зовнішніх і внутрішніх сил на заготовки визначається сумісним рішенням рівняння Лапласа (рівняння рівноваги), умови постійності об'єму і умови пластичності.

скоювана снарядом по зсуву рідини розраховується так:

$$A = P \Delta W,$$

де ΔW – об'єм перехідника, що звільняється від рідини.

Хай P_1 і P_2 - тиск в рідині, відповідно на початку і в кінці процесу пластичної деформація заготовки. Спочатку снаряд скоює роботу виключно для стиснення рідини (на величину $\square W_1$).

При цьому необхідну роботу можна розрахувати за формулою

$$A_1 \square \frac{P_1 \square W_1}{2} \square \frac{P^2 W}{2 E_{\text{ж}}}.$$

На етапі деформації заготовки снаряд звільняє від рідини об'єм

$$\Delta W_2 = \Delta W_{\text{заг}} \pm \Delta W_{\text{ж}},$$

де $\Delta W_{\text{заг}}$ - первинний об'єм порожнини між заготовкою і матрицею;
 $\Delta W_{\text{ж}}$ - величина зміни об'єму рідини від тиску P_1 до тиску P_2 .

При цьому затрачується робота

$$A \square \frac{P_1 \square P_2}{2} \square W_{\text{за}} \square \square A_{\text{ж}}.$$

Тут $\square A_{\text{ж}}$ - змін потенційної енергії рідини при стисненні її на величину $\Delta W_{\text{ж}}$.

Сумарна робота, зроблена снарядом з початку процесу

$$A \square \frac{P_1 \square W}{2} \square \square A_{\text{ж}} \frac{P + P_2}{2} + \square W_{\text{заг}}.$$

В цій формулі перші два члени є роботою $A_{\text{ж}}$, що затрачується на створення в рідині тиску P_2 , яка визначається згідно виразу

$$A_{\text{ж}} \square \frac{P^2 W}{2 E_{\text{ж}}} \text{ при } P = P_2.$$

Тоді формула для роботи приймає вигляд:

$$A = \frac{P^2 W}{2E_{ж}} + \frac{P}{2} W_{заг}.$$

Далі отримаємо

$$V_d = \sqrt{\frac{2 P^2 W}{m_{сн} 2 E_{ж}} + \frac{P}{2} W_{заг}}.$$

де V_d - швидкість снаряда на виході із стовбура (дульна швидкість);

$m_{сн}$ - маса снаряда.

Заряд пороху визначається через КПД стовбурної системи і сили пороху f :

$$f = \frac{A}{m_{сн} V_d},$$

а за наявності балістичної характеристика прес-гармати - за її допомогою по відомим $m_{сн}$ і V_d [2].

На рис. 2 і 3 представлені екранні форми і технологічні розрахунки для параметрів технологічного процесу виготовлення листової деталі авіаційного двигуна. Розроблена програма захищена авторським свідоцтвом.

Рис. 2. Екранна форма для розрахунків технологічних параметрів

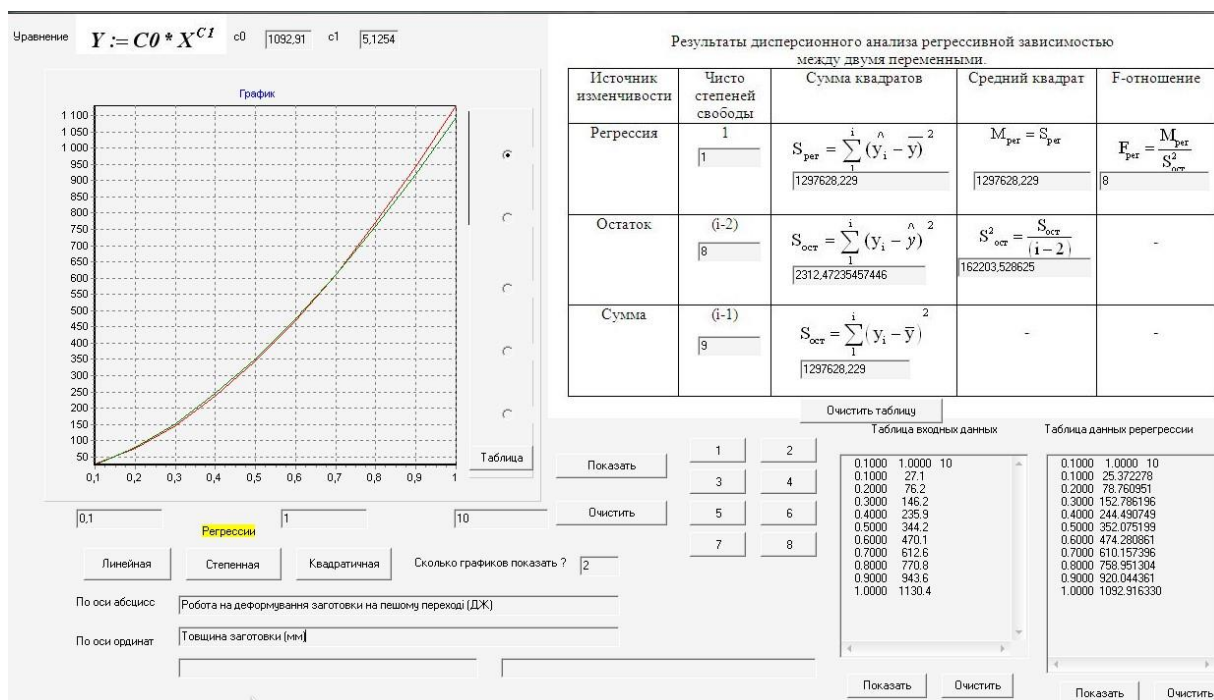


Рис. 3. Екранна форма результатів дисперсного та регресивного аналізу даних залежності роботи від товщини деталі

Представлені матеріали можуть бути впроваджені в курсовому і дипломному проектуванні, в наукових розробках, а також на підприємствах авіаційного профілю.

Принципово зовнішніми джерелами енергії при розгоні снаряда за допомогою пропонованого енерговузла можуть бути (за винятком порохових газів): розширення стисненого повітря, випаровування зрідженого газу, розширення перегрітої пари, горіння киснево-газової, газо- та паливоповітряних газоподібних газів, продуктів енергії різних механічних систем (динамічних, пружних, інерційних тощо), імпульсно-вакуумні, електромагнітні, гравітаційні та інші системи, що забезпечують необхідний навантажувальний вплив на рідину в розгінній камері.

Ця технологія може бути використана для простих і складних листових заготовок цілого ряду технологічних операцій [3].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Пристрій для вальцювання та штампуння на прес-гарматі, патент на корисну модель №127798, опублікований МПК B21D 26/06 (2006.01), B21D 26/02 (2018.01) опублікований 27.08.2018, Бюл.№ 16.

Turkenich I.S. (*Ukraine, Kramatorsk, DSEA*).

METHOD OF EDITING NON-RIGID PLANE DETAILS.

The method of mechanical straightening of parts is laborious and importantly subject to control. A new method of straightening non-hard parts in an electromagnetic field is being promoted, which allows for the reduction of the front imperfections, to complete the work efficiently, without requiring great expenses, and increasing the productivity of the preparation of parts.

In today's machine-building, it is possible to grow rapidly to the quality of the preparation of machine parts, which calls for the need for a variety of rational methods in order to ensure the task parameters of the quality of production.

During mechanical processing of machine parts, internal stresses are created in the surface balls. Under the hour of operation of machines, these parts are included, under the influx of vibrations and the changeable thermal waves of the rear, the internal stresses in the materials of the parts are redistributed, which leads to deformations and a decrease in the strength of the working functions. Larger deformations are blamed for mechanical processing of non-hard high-precision parts, for example, the guide rails of metalorizal verstats, guide rails, plungers of the steam pumps, etc. In connection with cym, in technological processes, the preparation of these parts is carried out many times old after the skin type of mechanical processing (finishing, milling, grinding). As a rule, piecemeal antiquity increases the technological cycle of preparation, reduces productivity and stabilizes excess voltages not in the new world.

For the uniqueness of this negative phenomenon, there are a lot of ways, which can be grouped according to its indication to:

- ways to ensure the reduction of excess stresses in the metal;
- ways to ensure the equalization of internal voltages without any significant change after the change.

The first methods have been known for a long time and are widely used in machine-building, but there may be shortfalls, the main one is the impossibility of a complete reversal of excess stresses, which in the final result will lead to excessive deformations during mechanical processing.

There are other ways to make a number of technological devices in your warehouse, like vicorist during mechanical processing of non-hard parts. Rational distribution of allowances, methods of front overprinting of the blank in the direction of transferring deformation after processing, a method of controlling the deformation by the rational force of cutting Ru [1, 2]. In the final operations, for example, when flat grinding with vicarious ferromagnetic powder as a

compensator for cob deformation of the part, a method of compensating for warpage by surface plastic deformation, both with one-sided processing, and with two-sided ones [3]. In this way, all methods, like advancing to another group, are based on the alignment of the equally important steel in the details of the piece local intrusion of additional excess stresses, as they compensate for those that were forfeited by the allowance of the metal.

Correction of corrections, which are blamed through the distortion of details in the minds of the minds of the minds, is carried out for an additional editing operation, as it is important to control the management and not always give a positive result.

Thus, the search for new highly efficient methods of stabilizing the quality of parts in the preparation of an actual problem of machine-building-bath.

The method of work is the development of a method that allows you to compensate for the compensation of internal excess stresses and improve the physical and mechanical power of working surfaces of parts, as well as of all materials. In addition, the method takes a minimum of an hour to complete it, you will need to obtain a simple possession that can easily be installed at the technological line of processing.

Let's take a deep breath - infusing magnetic winds on the physical and mechanical power of the material of parts, changing high-frequency voltages, changing them pulsating thermal winds, static voltages.

We have carried out a series of experiments on the correction of flat parts in an electromagnetic field.

The object of research is steel 20X, dimensions $L \times B \times H = 100 \times 20 \times 6$ mm. The cob openings due to the straightness of the surface fH were in the range of 0.05...0.1 mm. In addition, small in the presence of the standard bar, it is impossible to see the planes in the form of straightness.

Details, fixed on the standard plate, were ruffled between the poles of magnets in such a way that the magnetic whirl penetrated them in a diametrically straight line. To the ends of the parts through clamps 3 a change strum is supplied. Electric strum vzaimodie z linear magnetic field and by the same time you click on the mechanical changes of parts in the magnetic field. A stronger magnetic field causes a change in the structure of the surface ball of the part, for example, dispersion or coagulation of carbide stocks, which causes a re-spread of the internal excess stresses. The superfluous austenite under the influence of the magnetic field goes over to martensite, which causes changes in volume, which adds to the redistribution of the superfluous stress.

The electric field under the ohmic support of the part creates a change in the thermal field both in the surface ball and in the central volume, which also causes the stabilization of excess voltages. Magnetostrictive high-frequency coving of the bulk metal of the part calls for details of the grains, which improves the physical and mechanical features of the parts [4].

The eyes were sharpened according to the thickness in an electromagnetic field, after which the freezing of excess deformations ϵ was made.

The greatest effect of processing in the electromagnetic field is achieved at the processing hour $t = 3$ c, that is 195 sec, with an increase in the hour to 6 cycles, it is more likely to be achieved in the field with the cob.

VISNOVKI

In this way, from a physical point of view, the gap of excess deformation in case of rose-placed gaps and cob deformation in a magnetic field can be explained by the fact that the magnetic effect is caused by metal, which is the maximum internal stress σ , the decal changes the modulus of elasticity) [4], so E zbilshuetsya. According to the theory of pure bending (Hooke's law) the change of the fiber ϵ is due to the fact that it is on the actual line of the neutral ball, which is healthy:

$$\epsilon = \sigma / E.$$

To increase the modulus of elasticity during magnetization to lead to a change in the effective tension of the fiber ϵ , so that the correction of the cut is required.

As long as the optimal time of exposure to the electromagnetic field, it can be explained that the increase in temperature causes a thermal effect, which will require further investigation.

REFERENCES

1. A.S. 1364411 (SSSR). *Sposob odностorонnej obrabotki nezhestkih detalej.* P.I.YAshericyn, L.P.Kolot, V.A.Kolot, opubl. V BI. 1998. №1.
2. A.S. 1757787 (SSSR). *Sposob odностorонnej mekhanicheskoy obrabotki nezhe-stkih detalej.* L.P.Kolot, YU.F.Glazunov, V.A.Kolot, A.V.Kolot, opubl. v BI. 1992. №32.
3. A.S. 1526957 (SSSR). *Sposoby obrabotki detalej.* V.A.Kolot, L.P.Kolot, opubl. v BI 1989. №45.
4. Trofimova T.N. *Kurs fiziki.* – M.: Vysshaya shkola, 2003. – 541 s.

Фраймович А.В., Кравцова Д.Ю., Бондар О.В. (Україна, Кривий Ріг, КНУ)

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОСТІ СТВОРЕННЯ ЗАСТОСУНКУ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ ПАСКАЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПОТРЕБ ІНЖЕНЕРА-МЕХАНІКА

У роботі висвітлено проблему рутинних розрахунків у механічній інженерії. Показано переваги і недоліки існуючих програмних продуктів призначених для їх полегшення. Запропоновано створювати власні застосунки із відкритим кодом для вирішення вузьких задач інженера-механіка. Проаналізовано складність алгоритмізації та програмування подібних застосунків.

The paper highlights the problem of routine calculations in mechanical engineering. The advantages and disadvantages of existing software designed to facilitate them are shown. It is proposed to create your own open source applications to solve the narrow problems of a mechanical engineer. The complexity of algorithmization and programming of such applications is analyzed.

Обчислення, які виконують інженери-механіки, частіше за все досить прості, але об'ємні по кількості математичних операції, містять у собі багато змінних, поправкових коефіцієнтів, табличних величин, тощо. Щоб облегшити ці рутинні розрахунки можна використовувати готове програмне забезпечення (ПЗ): табличні процесори [1, 2], системи комп'ютерної алгебри [2], тощо. Внаслідок комерційності та універсальності такого ПЗ воно має певні недоліки: необхідність дорого купувати ПЗ, відсутність можливості використати деякі математичні операції, не завжди доступний циклічний оператор, необхідність внесення табличних даних і багатьох специфічних формул вручну, необхідність навчання співробітників і самому ПЗ, і розробленими проектами авторами, розроблений проект може не відкриватися на іншому комп'ютері та ін.

Якщо одного разу розробити програми із відкритим кодом для певних вузьких задач зі зручним інтерфейсом, то щоденна робота інженера може стати більш творча, більш спрямована на вирішення інженерних задач підприємства, скоротивши час на розрахунки. Наприклад, у роботах [2-4] пропонується роботи розрахунки мовами C#, C++, MathLab. Переваги окремих застосунків: френдлі та юзабільний інтерфейс, який інтуїтивно зрозумілий професіоналу механіку, навіть такому, який користується застосунком вперше, безкоштовний і функціонально гнучкий, якщо користуватися застосунками у відкритому коді, застосунок швидко працює навіть на слабкому ПК. Хоча і є невеликий недолік: необхідність інженеру

знати мову програмування на базовому рівні. Це питання було розглянуто у статті [2], де була спроба довести, що інженерам механікам слід вивчати програмування із декількох причин.

Мета роботи полягає у тому, щоб розробити ПЗ для розрахунку типової задачі для інженера-машинобудівника і проаналізувати, які оператори та операнди знадобилися для цього, оцінити їх складність алгоритмів та необхідний рівень вмінь програмувати.

Досліджуючи дане питання у сучасних наукових статтях і на ресурсах із застосунками із відкритим кодом нами було зроблено висновок, що такого роду дослідження виконувалося дуже мало, а подібних застосунків майже немає у вільному доступі.

Мовою програмування Паскаль у середовищі програмування Lazarus нами було розроблено застосунок (рис. 1), який обчислює для підшипників, які служать підтримкою ведучої вал-шестерні редуктора, посадки внутрішнього кільця на вал та зовнішнього кільця у корпус, виконує перевірку посадового зазору по найбільшому натягу обраної посадки, креслить схеми інтервалів допусків обраних посадок.

Incoming data

Main parameters:

Bearing : 6-220

R = 19 kH - radial load

A = 0 kH - axial load

Type of action: Strong blows, overload. 300%

Type of the case: can't be separate

D= can't be separate inner ring

d= 180 mm, nominal diameter of the outer ring

B= 34 mm - width of the outer ring

r= 3,5 mm - radius of the edges of the inner ring

β = 0 ° - angle of contact of the rolling elements with the raceway

Next step

Рисунок 1 – Вікно введення вхідних даних

У ході розробки часто використовувався повний умовний оператор if, наприклад, у рядках:

```

if spos>0 then
begin
showmessage('Визначене додатне значення посадового зазору, свідчить про
те, що між тілами кочення та біговими доріжками є зазор. Значить вибрана
посадка підшипника на вал задовольняє експлуатаційним потребами, зазор у
такому разі дорівнює: '+ floattostr(Spos) +'мкм');
end
else begin
showmessage('Зазор відсутній, оберіть посадку із меншим натягом внутрішнє
кільце - вал'+floattostr(spos)+Floattostr(deltaD));
end;
Його вивчення входить у найпростішу програму шкільного курсу
програмування і зазвичай добре засвоюється. Він найзастосовуваніший серед
усіх операторів.

```

Таблиця 9

Inner diameter D = 23mm

Load intensity $P_r = H/mm$

Inner diameter	P_r	P_r	P_r	P_r
18-80	<300	300-1350	1350-1600	1600-3000
80-180	<600	600-2000	2000-2500	2500-4000
180-360	<700	700-3000	3000-3500	3500-6000
360-630	<900	900-3500	3500-4500	4500-8000
Fit	Js6	k6	m6	n6

Рисунок 2 – Вікно із таблицею реалізованою компонентом StringGrid

Розробляючи застосунок було створено кілька таблиць із стандартними інтервалами допусків для швидкого підбору посадок використовуючи StringGrid (рис. 2). Він є трохи складнішим для роботи, ніж примітивні компоненти Label, Button, Edit, але дуже ефективний для роботи із табличними даними.

Результатом роботи застосунку є звіт на рис. 3. Підсумовуючи: були застосовані нескладні команди умовного оператора, компоненти форми Label, Button, Edit, StringGrid, найпростіші арифметичні операнди. Загалом із точки зору алгоритмізації та програмування проект та розрахунок є не складним, працевитратним є тільки дизайн інтерфейсу. Отже, умінь програмувати достатньо навіть зі шкільного курсу трохи підсиленого університетським курсом. А можливості мови Паскаль та середовища розробки Lazarus є досить функціональними для технічного застосування, особливо для початківця у програмуванні.

У подальших проектах слід розвивати функціонал даного застосунку та розробляти нові застосунки для обчислення інших задач механічної інженерії. Довести, що програмування власних інженерних калькуляторів добре оптимізує роботу і зусилля інженера-механіка на робочому місці, зменшить кількість випадкових помилок, розвантажить від рутинної роботи.

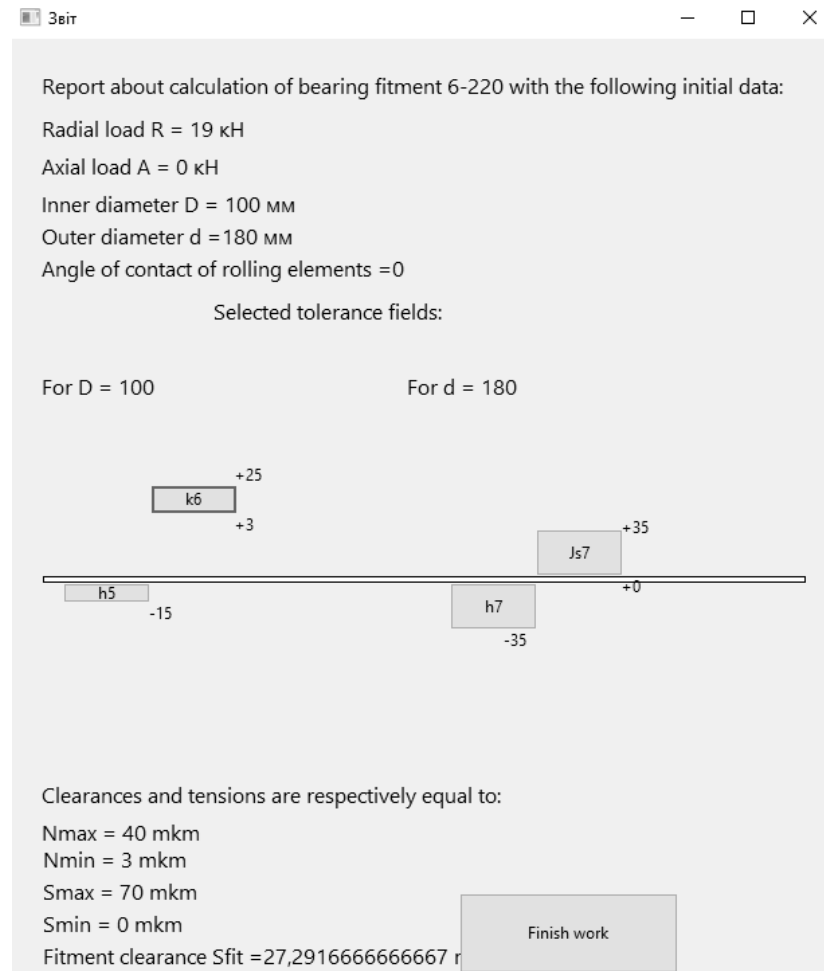


Рисунок 3 – Вікно результатів розрахунку

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Liu T. L. *Excel spreadsheet in mechanical engineering technology education*. 2018 ASEE Conference for Industry and Education Collaboration : Conference for Industry and Education Collaboration, San Antonio, 7 February 2018. 2018.
2. Saeed A. Q., Sultan M. T., Yaseen K. N. *Simulating Mechanical Engineer Equations Using C++ Programming Language*. International Journal of Technology and Engineering Studies. 2019. Vol. 5, no. 5. P. 163–168.
3. Liu Y. *A programming course including C# and MatLab for mechanical engineering students*. Computers in education journal. 2011. No. 25. P. 106–112.
4. Hoffbeck J., Dillon H., Albright R. *Teaching programming in the context of solving engineering problems*. IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Erie, 12 October 2016. 2016.

Чаус О.С., Мартиненко І.М., Бурик І.П. (Україна, м. Конотоп, Конотопський інститут СумДУ)

СИНТЕЗ ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД НАНОСТРУКТУРНИХ ПЛІВОК МЕТАЛ-ФУЛЕРИТ-МЕТАЛ

У даній роботі проведено огляд структурних властивостей фулериту, синтез та дослідження фазового складу тонкоплівкових матеріалів метал-фулерит-метал. Електронно-мікроскопічні дослідження проведені для плівкової системи Ni/C₆₀/Ni. В результаті дослідження був визначений період кристалічної ґратки ГЦК-C₆₀ та ГЦК-Ni, які відповідно становили 1,417 нм та 0,353 нм. Середній розмір кристалітів для плівок фулериту та Ni відповідно становив 4 нм та 20 нм. Отримані результати мали добре узгодження з даними інших робіт.

This paper reviews the structural properties of fullerite, synthesis and study of the phase composition of metal-fullerite-metal thin film materials. Electron microscopic studies were performed for the Ni/C₆₀/Ni film system. As a result of the study, the period of the crystal lattice of FCC-C₆₀ and FCC-Ni was determined, which were 1.417 nm and 0.353 nm, respectively. The average crystallite size for fullerite and Ni films was 4 nm and 20 nm, respectively. The obtained results were in good agreement with the data of other works.

Відомо, що фулерит – [молекулярний кристал з](#) гранецентрованою кубічною (ГЦК) кристалічною ґраткою (рис.1а) або простою кубічною (ПК) кристалічною ґраткою. Він утворюється як продукт об'ємної [полімеризації сферичних вуглецевих молекул фулеренів](#) (рис.1б). Отриманий матеріал повністю зберігає структуру просторових каркасів, які мають аномально високу жорсткість та твердість [1]. Останнє дозволяє застосовувати фулерити в машинобудуванні в якості зміцнювальних покриттів, мастил тощо. Його унікальні властивості обумовлюють значний інтерес для інженерів та матеріалознавців [1-5]. Таким чином метою даної роботи було вивчення методик отримання, властивостей плівок фулериту та дослідження їх структурно-фазового складу.

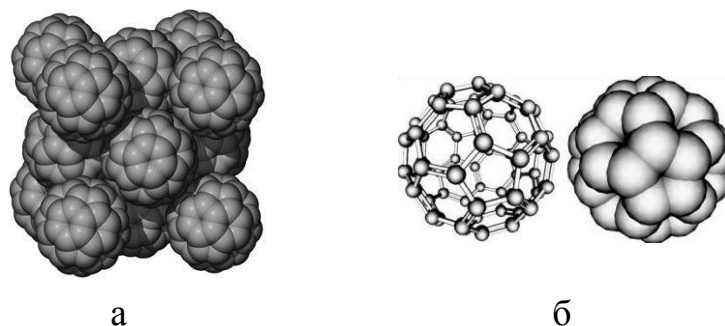


Рис. 1. Кристалічна структура фулериту (а) та молекули C₆₀ (б) [2]

У 1990 р. Кретчмер В. та [Хаффман Д.](#) в одній із лабораторій Інституту

ядерної фізики у м. Гейдельберг (Німеччина) вперше спостерігали твердий фулерит. Як алотропна форма чистого вуглецю цей матеріал принципово відрізняється від алмазу та графіту. Період кристалічної ґратки ГЦК- C_{60} становить $a = 1,417$ нм, а середній діаметр молекули фулерену – $0,708$ нм, відстань між сусідніми молекулами – $1,002$ нм. Густина фулериту – $1,7$ г/см³, що значно менше густини графіту ($2,3$ г/см³) та алмазу ($3,5$ г/см³) [2]. Це пов'язано з тим, що молекули фулерену, розташовані у вузлах ґрат фулериту, порожнисті. У таблиці 1 наведено деякі дані про фізичні константи для фулериту.

Таблиця 1

Фізичні константи для фулериту C_{60} [3]

Величина	Значення
Постійна ґратки (ГЦК)	$14,17 \text{ \AA}$
Відстань $C_{60} - C_{60}$	$10,02 \text{ \AA}$
Енергія зв'язку $C_{60} - C_{60}$	$1,6 \text{ eV}$
Густина	$1,72 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
Молекулярна густина	$1,44 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$
Изотермічна стисливість (300 К)	$6,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2 \text{Н}^{-1}$
Температура переходу ПК–ГЦК	261 К
Об'ємний коефіцієнт термічного розширення	$6,1 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$
Робота виходу	$4,7 \text{ eV}$
Температура Дебая	185 К
Теплопровідність (300 К)	$0,4 \text{ Вт} \cdot \text{м} \cdot \text{К}^{-1}$
Електропровідність (300 К)	$1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}$
Температура плавлення	$1180 \text{ }^\circ\text{C}$
Ентальпія сублімації	$167 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$
Діелектрична постійна	$4.0 - 4.5$

Оскільки відомо про можливість утворення фулериту в природних умовах його класифікують як мінеральний елемент групи вуглецю. Завдяки тому, що молекули у ньому зближені, з них можуть легко бути отримані різні олігомери та полімерні фази під дією світла, опромінення електронами або тиску. Як приклад при тиску до 10 ГПа отримано та охарактеризовано орторомбічну фазу, що складається з лінійних ланцюжків пов'язаних між собою молекул, а також тетрагональну та ромбоєдричну фази, що складаються з шарів тетрагональної та гексагональної мереж міжмолекулярних зв'язків, відповідно. Існують дані про утворення з фулериту феромагнітних полімеризованих фаз (магнітний вуглець) під дією тиску та температури [2]. Існування таких фаз може бути пов'язане з

утворенням дефектів, присутністю домішкових атомів та частинок, а також з частковим руйнуванням молекул C_{60} .

Завдяки високій стабільності фулеренів можна говорити про фазові діаграми фулерену як самостійної речовини – хімічної сполуки, що складається з атомів карбону (рис. 2а). На даній фазовій діаграмі видно, що за атмосферного тиску зниження температури до 260 К призводить до орієнтаційного фазового переходу у фулериті, в якому ГЦК перетворюється ПК. Природа цього переходу обумовлена здатністю молекул легко змінювати свою відносну просторову орієнтацію при тепловому русі [3]. Зокрема, оскільки сили взаємодії між молекулами C_{60} в кристалі малі, а симетрія дуже висока, то при температурі вище 260 К молекули фулерену обертаються (пластичний кристал). Частота обертання при $T = 300$ К становить $\sim 10^{12}$ Гц. При зниженні температури ($T < 260$ К) обертання молекул C_{60} припиняється. При $T = 260$ К відбувається зміна кристалічної структури фулериту ГЦК→ПК (фазовий перехід 1-го роду) з одночасним заморожуванням обертального руху молекул внаслідок збільшення енергії міжмолекулярної взаємодії. Отже низькотемпературна фаза фулериту має ПК кристалічну ґратку.

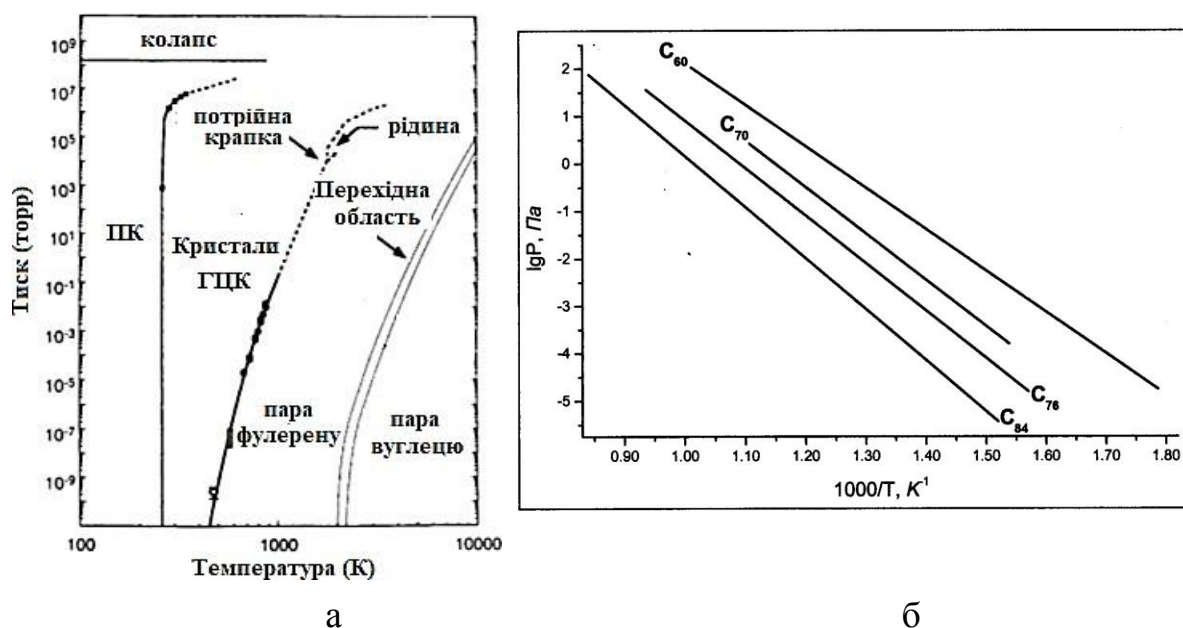


Рис. 2. Фазова діаграма (а) та тиски насичених парів для різних фулернів (б) [3]

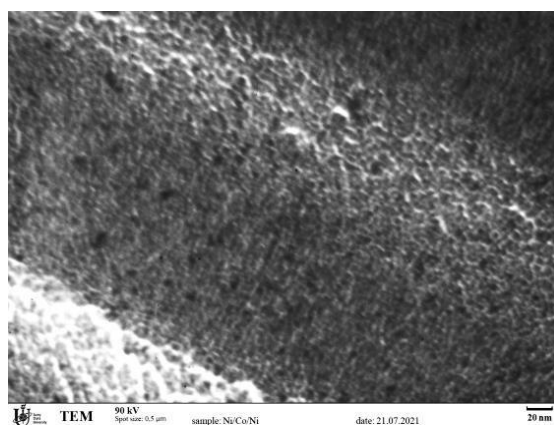
Слід відмітити, що внаслідок високої летючості фулерен дуже зручний для використання в плівкових технологіях. Важливим фактором для практичного застосування фулерену є можливість синтезу високодосконалих конденсатів на його основі, оскільки в ряді випадків ступінь досконалості фулеритових плівок визначає стабільність та однорідність їх властивостей в об'ємі конденсату. При значно нижчих температурах фулерит легко сублімує, що пояснюється порівняно слабкими Ван-дер-Ваальсовими силами

міжмолекулярних зв'язків та малою енергією сублімації, що становить 1,86 еВ на молекулу. На рис. 2б приведено значення тиску насичених пари для ряду фулеренів [3].

Поряд з цим, фулерити досить стійкі хімічно і термічно, хоч і є фазою, термодинамічно невигідною щодо графіту. Вони зберігають стабільність в інертній атмосфері аж до температур близько 1200 К, за яких відбувається утворення графіту. При тисках понад 10 ГПа та температурах понад 1800 К відбувається утворення алмазних фаз, причому за певних умов можуть бути отримані нанокристалічні алмази. Зазначають, що утворення алмазів з фуллериту відбувається за нижчих температур порівняно з графітом. Утворення рідкої фази до цих температур немає. У присутності кисню вже за 500К спостерігається помітне окислення з утворенням CO і CO₂. Хімічній деструкції фулерит також сприяє наявність слідів розчинників. Фуллерити досить легко розчиняються у неполярних ароматичних розчинниках та у сірководнеці CS₂ [2].

Формування плівок, структура яких визначається слабкими Ван-дер-Ваальсовими силами, пред'являє особливі вимоги до створення рівноважних умов конденсації. У зв'язку з цим серед методів отримання фулеритових конденсатів високого ступеня кристалічності найбільшого поширення набули методи сублімації в замкнутому об'ємі, методи гарячої стінки, молекулярно-променевої епітаксії [1-3]. При цьому кристалічні плівки вдавалося сформувати в основному тільки на орієнтовних підкладках, таких як слюда, монокристалічний кремній та ін. Вирощені таким чином плівки зазвичай мали розмір кристалітів близько 1 мкм і часто характеризувалися яскраво вираженою текстурою (111).

В даній роботі плівкові системи Ni/C₆₀/Ni були отримані у вакуумній камері установки ВУП-5М методом сублімації фулеритової наважки в квазізамкненому об'ємі. Як підкладки використовували монокристалічні пластини NaCl. Перед та після конденсації плівок фулериту додатково було осаджено плівки ГЦК-Ni. Таким чином ми запобігали полімеризації плівок фулериту під дією електронних променів під час проведення електронно-мікроскопічних досліджень (рис.3). Розглянемо результати електронно-мікроскопічних та електронографічних досліджень (ПЕМ-125К) плівок фулеритів. Результати розшифрування електронограми для плівкової системи Ni/C₆₀/Ni (рис.3б) наведено у таблиці 2.



а



б

Рис. 3. Мікроструктура плівки фулериту (а) та електронограма від кристалографічних площин плівкових систем Ni/C₆₀/Ni (б). Стрілкою відмічений дифракційний максимум від кристалографічної площини (111) ГЦК-C₆₀

Таблиця 2

Розшифрування електронограми плівкової системи Ni/C₆₀/Ni

№	I, в.о.	d _{hkl} , нм	hkl	a, нм	Фаза	< a >, нм
1	С.	0,818	111	1,417	ГЦК- C ₆₀	Фазовий склад: ГЦК-C ₆₀ + ГЦК-Ni + сліди NiO _x , a (ГЦК-Ni) = $0,353 \pm 0,001$ нм, a (ГЦК-C ₆₀) = $1,417 \pm 0,001$ нм
2	гало	0,246	-	-	NiO _x	
3	Д.С.	0,204	111	0,353	ГЦК-Ni	
4	сер.	0,177	200	0,354	ГЦК-Ni	
5	гало	0,148	-	-	NiO _x	
6	сер.	0,125	220	0,353	ГЦК-Ni	
7	сер.	0,106	311	0,352	ГЦК-Ni	

С – сильна; Д.С. – дуже сильна; сер. – середня

Аналіз мікроструктури плівкових системи Ni/C₆₀/Ni (рис.3а) дозволив визначити середній розмір кристалітів окремих шарів. Для плівок фулериту та плівок Ni він відповідно становив 4 нм та 20 нм. Отримані результати мали добре узгодження з даними робіт [4-6].

Отже, в умовах технологічного вакууму в плівковій системі Ni/C₆₀/Ni формуються наступний фазовий склад: ГЦК-C₆₀ + ГЦК-Ni + сліди NiO_x. Про утворення ГЦК-C₆₀ свідчить наявність декількох дифракційних максимумів від відповідних кристалографічних площин (111) на електронограмах. Слід відмітити, що метою подальших досліджень вважаємо необхідність

застосування рентгенографічних або спектрометричних методів [5,6] аналізу фазового складу плівок фулериту.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Проценко І. Ю. *Наноматеріали і нанотехнології в електроніці : підручник* / І. Ю. Проценко, Н. І. Шумакова. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 151 с.
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Фулерити> – Фулерити, дата доступу: 28.05.2022 р.
3. *Effect of rotational speed on the interfacial nano-structural evolution and friction behavior of hydrogenated fullerene-like carbon (FLC) films in vacuum* / J. Shi, W. Wang, J. Yang et al. // *Tribology International*. – 2021. – V. 154. – P. 106746-7.
4. *A low-stress, elastic, and improved hardness hydrogenated amorphous carbon film* / Q. Wang, D. He, J. Zhang, // *J. Nanomater.* – 2015. – Vol. 2015. – P. 543631-5.
5. *Structural properties and IR-spectroscopy of Ni- and Fe-based heterogenous metal films* / М.М. Ivashchenko, І.Р. Buryk, В.М. Khudenko // *Proceedings of the 6-rd International Conference «Nanomaterials: Applications & Properties-2016»*, Lviv, Ukraine, September 14-19. – V. 5, № 1. – Sumy : SSU, 2016. – P. 01NTF12-4.

Чернокол А.В., Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

ВІБРАЦІЙНИЙ ВПЛИВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДВАННЯ

В роботі представлені результати числового моделювання параметрів кулькового вібратора задля забезпечення вібраційного технологічного на стан виробів механоскладального виробництва.

The paper presents the results of numerical modeling of the parameters of the ball vibrator to ensure the vibration of the technological state of the products of mechanical assembly production.

Одним із параметрів, за яким визначають якість деталі, є параметр надійності [1]. Надійність – властивість виробу зберігати значення встановлених параметрів функціонування у межах протягом заданого часу.

Параметри якісного та кількісного характеру формуються на етапах:

- 1) проектування виробу та технології виготовлення;
- 2) виготовлення та контролю;
- 3) експлуатації.

Операції механообробки, внаслідок сильного впливу на матеріал, призводять до збільшення внутрішніх напруг у матеріалі [2]. Дане явище, може бути абсолютно негативним або позитивним, оскільки:

1) внутрішні напруги мають позитивний характер для виготовлення пружин та інших виробів, принцип дії яких заснований на використанні власного напруженого стану [3];

2) внутрішні напруження стиснення дозволяють підвищити експлуатаційні характеристики (підвищується витривалість, корозійну стійкість, пружність матеріалу) [3];

3) внутрішні напруження розтягування негативно впливають на інші металеві вироби, оскільки провокують розвиток тріщин і розтріскування, прискорення утворення корозії та руйнування матеріалу [4].

Тому, проводиться низка конструктивних і технологічних заходів, направлених на зменшення залишкових напруг. Найбільш перспективним методом, який має малу кількість недоліків, є віброобробка [5, 6]. До її переваг відноситься:

- низький рівень енергетичних витрат;
- низький рівень часових витрат;
- універсальність;
- компактність та мобільність обладнання;
- відсутність окалини, шлаків.

Недоліки методу:

- необхідне спеціальне обладнання;
- вібрації є шкідливим виробничим фактором;
- для габаритних деталей необхідно створювати спеціальне обладнання на основі полі частотних вібрацій.

Пневматичні вібровозбуджувачі використовують енергію стисненого повітря та характеризуються широким діапазоном зміни частот, амплітуд і зусилля, простотою регулювання, можливістю використання у вибухонебезпечних умовах [7].

Кулькові пневматичні вібровозбуджувачі генерують вібрації частотою до десятків тисяч Гц. Вібрація викликається: впливом від центральної сили кульки 2 (рис.1) на кільцеву доріжку 3; рух кульки по колу обумовлено впливом стисненого повітря, що подається через сопло 1. Повітря з корпусу виходить через отвори 4 [7].

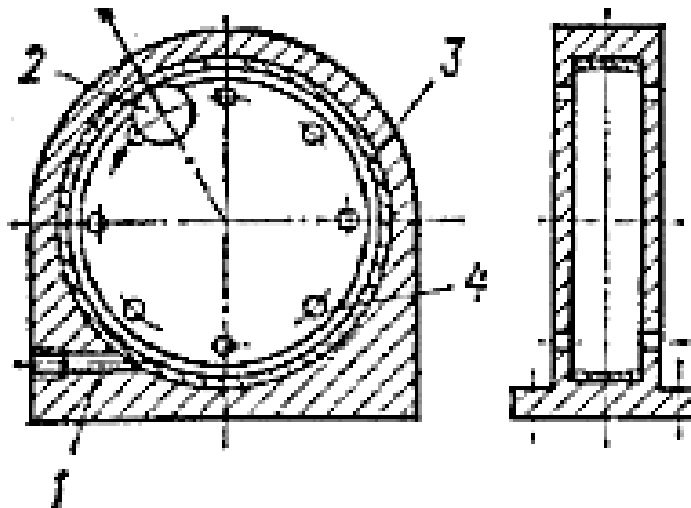


Рисунок 1 - Кульковий пневматичний вібровозбуджувач: 1 - сопло; 2 - кулька; 3 - кільцева доріжка; 4 - отвір для випуску повітря

Основні параметри вібровозбуджувача:

- 1) радіус каналу кільцевої доріжки (R , м);
- 2) діаметр кульки (d_k , м);
- 3) маса кульки (m_k , кг) розраховується за формулою:

$$m = V_k \cdot \rho = \frac{4}{3} \pi \cdot r_k^3 \cdot \rho, \quad (1)$$

де $V_{ш}$ – об'єм кульки m^3 ;

r_k – радіус кульки, м;

ρ – щільність сталі, $кг/м^3$;

f – частота вібрацій, Гц;

$$f = \sqrt{\frac{P \cdot 10^5 \cdot r_k^2}{4 \cdot \pi \cdot R \cdot m_k}}; \quad (2)$$

F_a – зусилля роботи вібратора, Н:

$$F_a = f^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot m_k; \quad (3)$$

P – тиск стисненого повітря, що подається, бар.

Побудована номограма для визначення залежностей $F_a(f)$ та $f(P)$ представлена на рис.2.

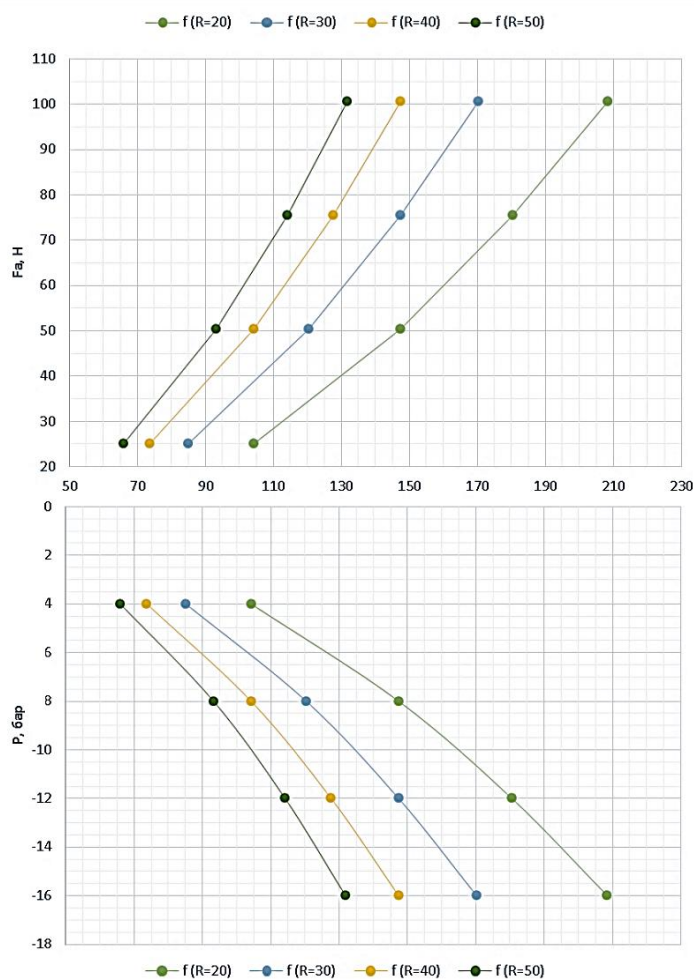


Рисунок 2 – Номограма для авзначення технрологічних параметрів кулькового вібратора.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1 ДСТУ ISO 9004:2018. Управління якістю. Якість організації. Настанови щодо досягнення сталого успіху. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 68 с.
- 2 Чубик Р.В., Горбатюк Р.М. Передумови створення та перспективи

розвитку адаптивних технологічних машин для віброабразивної обробки деталей. *Віб्राції в техніці та технологіях*. 2013. № 2(70). С. 141-152.

3 Барановський В.М., Пулька Ч.В., Підгурський М.І. Технологічні процеси в зварюванні та споріднених технологіях з використанням механічної вібрації. Сварка и родственные технологии: Перспективы развития. Мат. IV межд. Науч.-техн. конф. (04-07 октября 2016 г.). 2016. С. 118–120.

4 Verzhbickiy K.D., Fairushin A.M., Khafizova O.F., Yamilova A.R. Influence of vibrational treatment on quality of welding joints of vertical steel tanks. *International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies*. 2015 №2 С.68-72.

5 Горбатюк Р.М., Скварок Ю.Ю., Чубик Р.В. Високоефективні енергоощадні адаптивні вібромашини для віброабразивної обробки деталей. Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. 2015. С. 203-205.

Чечель Т.О., Колосов Д.Л. (Україна, м. Дніпро, НТУ «ДП»)

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛАСТОМІРНОЇ ОБОЛОНКИ ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА ВІД ПЕРЕДАЧІ ТЯГОВОГО ЗУСИЛЛЯ

Побудовано модель взаємодії тросів як основних тягових елементів каната та барабана підйомної машини, шківів поліспаста, що дозволяє визначати роботу сил деформування еластичної оболонки гумотросового каната.

A model of interaction of cables as main tractive elements of a rope and a drum of a hoisting machine, hoist pulleys, which allows determining work done by forces of deformation of an elastic shell of a rubber-cable rope.

Постановка задачі дослідження. Передача тягового зусилля від барабана тяговим елементам гумотросового каната – тросам, відбувається за рахунок напружень зсуву, що виникають в гумовій оболонці каната при її взаємодії з поверхнею барабана. Напруження зсуву виникають в матеріалі каната, як наслідок сил тертя. Остання залежить від тиску каната на барабан. Загальний напружений стан слід розглядати як стан, зумовлений двома чинниками – силами зсуву та силами тиску, що виникають поміж барабаном та канатом.

В дослідженнях напружено-деформованого стану плоского каната з урахуванням його просторового деформування [1-2] не розглядався механізм розподілу напружень в еластичній оболонці від передачі тягового зусилля на приводному барабані, що зумовлює актуальність задачі.

Метою даної роботи є встановлення залежності розподілу напружень в матеріалі еластичної оболонки гумотросового каната, зумовлених передачею тягового зусилля.

Канат утворений системою паралельних, розташованих з постійним кроком тросів. Виріжемо з каната частину гумової оболонки. Приймемо, що її сторона, яка взаємодіє з барабаном, нерухомо закріплена. Циліндричній поверхні, що взаємодіє з тросом надамо одиничне переміщення, троси розташовані в площині симетрії каната (рис. 1).

Для побудованої схеми, з урахуванням одиничного переміщення, маємо наступні граничні умови

$$z \in [0, b], \quad u_x = u_y = u_z = 0; \quad (1)$$

$$Z_z = X_z = Z_x = 0; \quad (2)$$

$$z \in [0, b],$$

$$y \leq \frac{t}{d}, \quad 0 \leq z \leq \frac{b}{d}, \quad \frac{b}{d} \leq z \leq \frac{b}{b}, \quad Y_x \leq X_y \leq Y_y \leq 0; \quad (3)$$

$$\left(z \leq \frac{b}{2} \right)^2 \leq \left(y \leq \frac{t}{2} \right)^2 \leq u_x \leq u_y \leq u_z \leq \frac{d}{2}^2, \quad 1, \quad 0;$$

$$y \leq Y_x \leq X_y \leq Y_y \leq 0. \quad (4)$$

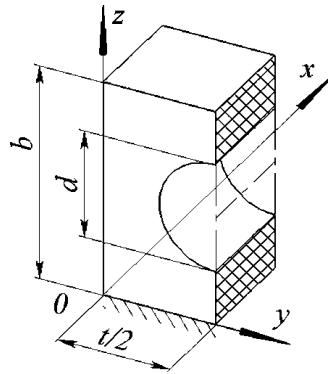


Рисунок 1 – Схема частини оболонки каната

Характер навантаження гумового елемента відповідає зсувному. Задача плоска. Переміщення в напрямку осі x задовольняють рівнянню Лапласа

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0. \quad (5)$$

Рішення (5), як і в роботі [1] будемо шукати у формі

$$u = M A \frac{\text{ch } q_m y}{\text{sh } q_m t/2} \sin q z, \quad z \leq \frac{t}{2}, \quad T x \quad (6)$$

де A_m – стала інтегрування, $q_m = \frac{m}{b}$, T – рівномірно розподілене дотичне навантаження, u_0 – переміщення зразка, як жорсткого тіла.

Прийнята форма рішення задовольняє усім граничним умовам за винятком (3). Виконання останньої умови забезпечимо, визначивши невідомі сталі із системи алгебраїчних рівнянь, прийнявши значення величини M . Порядок системи рівнянь дорівнює кількості точок, що розташовані на поверхні гумового зразка, при поділі його по товщині b на M частин

$$A \leq \frac{1}{M}, \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned}
& \frac{2M}{m} \frac{\operatorname{ch} q_m t}{2 \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} - \frac{i+t_p}{M} b\right)^2}} - \frac{\operatorname{sh} q_m t}{q_m} \frac{M}{2b} \\
& \frac{i t_p}{T \sin q_m} - i t_p - \frac{M}{2} \\
& j = 1, t_p - \text{номер точки, що відповідає точці, розташованій на поверхні}
\end{aligned} \quad (8)$$

гумового зразка, яка взаємодіє з тросом та для якої координата дорівнює $y = \frac{t}{2}$.

Вираз для переміщень гумового зразка (6) та закон Гука дозволяють визначити дотичні напруження

$$x_z = G \frac{M}{2} A_m \frac{\operatorname{ch} q_m y}{\operatorname{sh} q_m t} \cos q_m z \frac{t}{2} ; T \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{m} \operatorname{sh} q_m y \frac{q_m}{\sin q_m} z \frac{t}{2} , \\
& y_z = G \frac{M}{2} A_m \frac{\operatorname{sh} q_m t}{2} \frac{t}{2} \\
& m = 1
\end{aligned} \quad (10)$$

де G – модуль зсуву матеріалу еластичної оболонки каната.

Отримані залежності становлять модель напружено-деформованого стану еластичної оболонки каната при його навантаженні дотичним зусиллям на приводному барабані, або при його деформаціях, викликаних тертям в опорах шківів поліспаста. Залежності побудовані для одиничного переміщення троса.

При малій довжині дуги контакту каната та шківів, величина зсуву троса відносно поверхні барабана значно більша за деформації тросів внаслідок зміни величини їх навантаження на дузі контакту l . Вказане дозволяє вважати величину зсуву тросів відносно поверхні барабана незмінною на усій дузі.

Визначимо жорсткість на зсув частини каната шириною, що становить половину кроку укладання тросів, як значення інтегралу дотичних напружень

на ділянці контракту каната та шківів одиничної довжини

$$C_1 = \int_0^{t/2} y_z dx.$$

Жорсткість оболонки каната на зсув на ділянці взаємодії з барабаном (шківом)

$$C_M = 2l \int_0^{t/2} y_z dx, \quad (11)$$

де l – довжина дуги контакту каната та шківа.

Робота сил деформування на ділянці взаємодії з барабаном (шківом) відбувається при зміні сили зсуву від нуля до максимуму. Гістерезисні явища, що відбуваються в матеріалі оболонки, значно перевищують такі явища в металевому канаті. Будемо вважати, що вони призводять до лінійної втрати енергії під час взаємодії каната з барабаном. Разом з корисною роботою затрачена енергія на переміщення каната становить

$$Q_{\text{деф}} = \frac{1}{4l} \int_0^{t/2} P_H P_3 dx = \frac{1}{4l} P_H P_3 l, \quad (12)$$

де η – коефіцієнт розсіювання енергії деформування еластичної оболонки каната при зсуві тросів відносно барабана (шківа), $\eta \leq 1$.

Тоді коефіцієнт корисної дії на шківі тертя, з урахуванням виразу (10), становить

$$\eta_{\text{шківа}} = \frac{P_H P_3 l}{\frac{1}{4l} P_H P_3 l + \frac{1}{2} M \frac{t}{2} \frac{q_y}{m} \frac{q}{\sin q_m z} \frac{1}{\text{sh } q_m t / 2}}. \quad (13)$$

$$\eta_{\text{шківа}} = \frac{P_H P_3 l}{\frac{1}{4l} P_H P_3 l + \frac{1}{2} M \frac{t}{2} \frac{q_y}{m} \frac{q}{\sin q_m z} \frac{1}{\text{sh } q_m t / 2}}. \quad (14)$$

При взаємодії каната з футерованим шківом закономірності деформування футерівки шківа залишаються незмінними. Вплив футерівки

можна врахувати усереднивши властивості матеріалу оболонки каната та футерівки барабана, прийнявши осереднене значення модуля зсуву за Фойхтом двох компонент з модулями зсуву матеріалу оболонки каната (G_1) та футерівки (G_2)

$$G = \alpha_1 G_1 + \alpha_2 G_2 + \dots, \quad (15)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ – відносні об'ємні складові компонентів в матеріалі.

Отримана залежність показує, що при малих довжинах дуг взаємодії каната зі шківом довжина суттєво впливає на коефіцієнт корисної дії шківа тертя підйомної машини. Зростання жорсткості еластичної оболонки каната призводить до зростання коефіцієнта корисної дії шківа.

Висновки. Створення підйомних машин з мінімальним передаточним числом редуктора, включно з безредукторними приводами, може бути здійснено шляхом комплексного вирішення питання застосування гумотросових канатів, армованих тросами малих діаметрів, застосування барабанів зменшеного діаметру (з малою дугою контакту барабана з тяговим органом підйомної машини) та системи поліспастів з плоским тяговим органом. Побудована модель взаємодії тросів – основних тягових елементів каната та барабана підйомної машини, шківів поліспасти, дозволяє визначати роботу сил деформування еластичної оболонки гумотросового каната. Модель враховує радіус шківа поліспасти, шківа підйомної машини зі шківом тертя, механічні характеристики матеріалу еластичної оболонки, її форму, залежну від конструкції каната та дозволяє оцінювати вплив вказаних параметрів на ефективність конструкції підйомної машини, зокрема коефіцієнту корисної дії.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. Belmas I.V., Kolosov D.L., Kolosov A.L., Onyshchenko S.V., 2018. *Stress-strain state of rubber-cable tractive element of tubular shape*. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), pp. 60-69. DOI: 10.29202/nvngu/2018-2/5. http://nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2018/02/NVNGU02_2018_Belmas.pdf

Наукове видання

МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО-ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Збірник наукових праць

**Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції
20 червня 2022 р.**

За загальною редакцією

д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and

Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 12,67.

Обл.-вид. арк. 12,92. Тираж 100 пр. Зам. № 19

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №1633 від 24.12.2003