

**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Institute of Engineering Mechanics**



**Lviv Polytechnic National
University
Institute of Engineering Mechanics
and Transport
NGO "International Union of
Innovators and Researchers"**



C O N F E R E N C E P R O C E E D I N G S

**X INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE**

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

**1 - 5 February 2022
Ivano-Frankivsk – Yaremche**

Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ-2022» (Івано-Франківськ - Яремче, 1-5 лютого 2022 р.)

Наведено результати досліджень, що пов'язані із вирішенням актуальних проблем підготовки здобувачів вищої освіти з механічної інженерії, створення нових конструкцій, підвищення ефективності технологічних процесів, розроблення методів і засобів наукових досліджень у машинобудуванні.

Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ–2022» 1-5 лютого 2022 р. – Івано-Франківськ - Яремче, 2022. – 153 с.

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка: В.В.Врюкало

Видано на замовлення: Організаційного комітету конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ ТА ТРАНСПОРТУ



ГО «ІНТЕРНАЦІОНАЛЬНА СПІЛКА
ІННОВАТОРІВ ТА ДОСЛІДНИКІВ»



ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Панчук Віталій Георгійович – голова, д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Ступницький Вадим Володимирович — співголова, д.т.н., професор, завідувач кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”

Cristian Barz – Ph.D., Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Electronic and Computers, North University Center of Baia Mare (Romania)

Dagmar Caganova – PhD, Associate Professor, Ambassador for Foreign Affairs at Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Antoni Kalukiewicz— prof., AGH University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics (Poland)

Rolf Jung – Dr. rer. Nat, Professor, Head of Functional Safety, University of Applied Sciences, Germany

Isak Karabegovic – DSc, Full Professor, Technical Faculty, University of BIHAC, Bosnia and Herzegovina

Slawomir Lusinski – PhD, Associate Professor, Production Engineering, Faculty of Management and Computer Modelling, Kielce University of Technology, Poland

Alper Uysal – PhD, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Yildiz Technical University, Turkey

Predrag Živković – Ph.D., Associate Professor, Head of Laboratory for Thermometry, Department of Thermal engineering, University of Niš (Serbia)

Грицай Ігор Євгенович – д.т.н., професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування НУ “Львівська політехніка”

Гурей Ігор Володимирович - д.т.н., професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування НУ “Львівська політехніка”

Залого Вільям Олександрович - д.т.н, професор кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету

Іванов Віталій Олександрович – д.т.н, проф., завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету

Ковальов Віктор Дмитрович - д.т.н., проф., ректор Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ)

Луців Ігор Володимирович – д.т.н., професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя

Мироненко Євген Васильович - д.т.н., проф., декан інституту економіки і менеджменту Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ)

Оргіян Олександр Андрійович - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування Одеського Національного політехнічного університету

Пасічник Віталій Анатолійович - д.т.н., проф., проректор з наукової роботи НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського

Пермяков Олександр Анатолійович - д.т.н., проф., завідувач кафедри технологій машинобудування і металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Петраков Юрій Володимирович - д.т.н., проф., науковий керівник кафедри технології машинобудування НТУУ «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського

Тонконогий Володимир Михайлович - д.т.н., проф., директор Інституту промислових технологій, дизайну і менеджменту Одеського Національного політехнічного університету

Шкіца Леся Євстахівна - д.т.н., проф., завідувач кафедри нарисної геометрії та комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Крижанівський Є.І. – д.т.н., ректор ІФНТУНГ

Мандрик О.М. – д.т.н., перший проректор ІФНТУНГ

Чудик І.І. – д.т.н., проректор з наукової роботи ІФНТУНГ

Панчук В.Г. – д.т.н., зав. кафедри КМВ ІФНТУНГ

Врюкало В.В. – к.т.н., доц. кафедри КМВ ІФНТУНГ

Онисько О.Р. – д.т.н., проф. кафедри КМВ ІФНТУНГ

Шкіца Л.Є. – д.т.н., зав. кафедри ІКГ ІФНТУНГ

Медвідь Ю.В. – інженер кафедри КМВ ІФНТУНГ

ЗМІСТ

1.	<p>СУЧАСНІ ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ НАДТВЕРДИМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ Клименко С. А., член-кореспондент НАН України <i>Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України</i></p>	15
2.	<p>THE SMART PRODUCTION SYSTEMS MODELLING LABORATORY: COMPETENCY DEVELOPMENT, INNOVATIONS, AND RESEARCH ON INDUSTRY 4.0 Slawomir Lusinski, PhD, Associate Professor <i>Faculty of Management and Computer Modelling, Kielce University of Technology, Poland,</i> <i>Smart Production Systems Modelling Laboratory at the Centre for Science</i></p>	17
3.	<p>TREND OF APPLICATION OF SERVICE ROBOTS FOR INSPECTION, PLANNED MAINTENANCE AND REMOVAL OF DISRUPTIONS IN PIPING SYSTEMS Isak Karabegović¹, Predrag Dašić^{2,3} ¹<i>Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina,</i> ²<i>SaTCIP Publisher Ltd, Serbia</i> ³<i>Faculty of Information Technology and Engineering, Serbia</i></p>	18
4.	<p>THE ECOSYSTEM AS A TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF THE REGION OR THE "PILSEN" TYPE ECOSYSTEM ЕКОСИСТЕМА ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ РЕГІОНУ АБО ЕКОСИСТЕМА ТИПУ «ПЛЬЗЕНЬ» Milan Edl <i>Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia, Czech Republic</i></p>	19
5.	<p>IoT BASE ON ARDUINO MODULES IN ENERGY MONITORING BARZ Cristian, cristian.barz@ieec.utcluj.ro ERDEI Zoltan, ZoltanErdei@Eaton.com ONYSKO Oleh, onysko.oleg@gmail.com ŽIVKOVIĆ Predrag, pzivkovic@masfak.ni.ac.rs LATINOVIC Tihomir, tihomirlatinovic@live.com POP-VĂDEAN Adina, adinaluciapopvadean@yahoo.com</p>	20
6.	<p>SYNERGETIC STUDY ON IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING SEAT TRACK TYPE AIRCRAFT PARTS Cosma Marius, marius.cosma@imtech.utcluj.ro Pașca Nicolae Ioan, Nicolae.Pasca@universalalloy.com Darabă Dinu, dinu.daraba@imtech.utcluj.ro</p>	20

7.	<p>PHASE CHANGE MATERIALS: THERMAL ENERGY STORAGE APPLICATIONS AND TECHNOLOGICAL CHALLENGES FOR HEAT RECOVERY AND STORAGE</p> <p>¹Cvetanović G., ²Živković P., ¹Stojiljković S., ²Janevski J., ³Škundrić J.</p> <p><i>¹University of Niš, Faculty of Technology</i></p> <p><i>²University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering</i></p> <p><i>³ University of Banjaluka, Faculty of Mechanical Engineering</i></p>	21
8.	<p>WOOD BIOMASS MARKET IN SOUTHEAST SERBIA</p> <p>¹Janevski J., ¹Živković P., ²Tomić M., ³Škundrić J., ⁴Cvetanović G.</p> <p><i>¹University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering</i></p> <p><i>²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences</i></p> <p><i>³ University of Banjaluka, Faculty of Mechanical Engineering</i></p> <p><i>⁴University of Niš, Faculty of Technology</i></p>	22
9.	<p>OPTIMIZATION SYNTHESIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS PARAMETERS FOR MANUFACTURING OF THE MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS</p> <p>¹Yaroslav Kusyi, DScTech, Associate Professor, ¹Oleksii Lanets, DScTech, Professor, ¹Zinko Andrii, student, ²Benea Marius Calin, PhD, Associate Professor, ³Sava Cipriana, PhD, Associate Professor</p> <p><i>¹Lviv Polytechnic National University, Ukraine</i></p> <p><i>² Politehnica University Timișoara, Romania</i></p> <p><i>³“Dimitrie Cantemir” Christian University, Timisoara, Romania</i></p>	23
10.	<p>INNOVATIVE CAISSON STRUCTURE FOR WELDING WORKS IN MARINE CONDITIONS</p> <p>²Moczarny W., M.Sc, Eng., ^{1,2}Nycz D.B., Ph.D., Eng., ^{1,2}Orzechowski W., M.Sc, Eng., ³Pawełek R., M.Sc, Eng.</p> <p><i>¹Technical Institute, Jan Grodek State University, Sanok, Poland</i></p> <p><i>²ENDEGO Ltd., Sanok, Poland</i></p> <p><i>³TARKON Ltd., Tarnobrzeg, Poland</i></p>	26
11.	<p>INVESTIGATION OF THE STRESS STATE OF SUPER COMPACT MECHATRONIC SATELLITES OF A CYCLOIDALIC REDUCER</p> <p><i>Oleh Onysko¹, DSc., Professor, Cristian Barz², PhD., Associate Professor, Anatolii Panchuk¹, PhD., Associate Professor, Marko Penderetskyi¹, student</i></p> <p><i>¹Ivano-Framkivsk National Technical University of Oil and Gas</i></p> <p><i>²Technical University of Cluj-Napoca, North University Center of Baia Mare, Romania</i></p>	28
12.	<p>APPLICATION OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CUTTING FLUID SELECTION</p> <p>Petković D., Madić M., Radenković G., Živković P.</p> <p><i>University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia</i></p>	32

13.	THERMODYNAMIC SIMULATION PATTERN OF TITANIUM ALLOY CUTTING PROCESS Stupnytsky V., <i>DSc., Professor</i> , She Xianning (China), Stupnytska N., <i>PhD, Associate Professor</i> <i>Lviv Polytechnic National University</i>	33
14.	DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WIND POWER PLANT WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION Tomczewski L. <i>PhD, Eng.</i> ; Kaździolka D., <i>Eng.</i> ; Mazur M., <i>Eng.</i> <i>Technical Institute, Jn Grodek State Vocational Academy, Sanok, Poland</i>	36
15.	EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF PERFORATED PLATE CONVECTIVE HEAT TRANSFER Mladen Tomić ¹ , Predrag Živković ² , Jelena Janevski ² , Mića Vukić ² , Aleksandar Anđelković ¹ , Miroslav Kljajić ¹ , Jovan Škundrić ³ ¹ <i>University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Serbia</i> ² <i>University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia</i> ³ <i>University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina</i>	38
16.	PROSPECTS OF USING THE FLEXSIM SYSTEM FOR SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING Vriukalo V.V., <i>PhD., Associate Professor</i> , Kykavets V.M., <i>student</i> <i>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas</i>	40
17.	EFFECT OF GEOMETRY OF TUNGSTEN CARBIDE BIT TOOTH ON THE EFFICIENCY OF ROCK DESTRUCTION Vriukalo V.V., <i>PhD., Associate Professor</i> , Zanyk V.V., <i>student</i> <i>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas</i>	42
18.	CAD ANALYSIS AND INJECTION MOLDING IN ASPECTS OF TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT ON THE EXAMPLE OF A DESKTOP FAN PROPELLER Ziobro J., <i>Doctor of Technical Sciences, Technical Institute</i> <i>The Jan Grodek State University in Sanok, Poland</i>	44
19.	АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РЕКРЕАЦІЇ УЧАСНИКІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ Архипова Л.М., <i>д.т.н., проф.</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	45
20.	НАПРУЖЕННЯ В ІНСТРУМЕНТІ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ Іван Бельмас, Олена Білоус, Ганна Танцура, Тимофій Танцура <i>Дніпровський державний технічний університет</i>	48
21.	МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБАМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ Белявський О. В., <i>ст. викладач</i> , Косенко О. В., <i>асистент</i> , Плужник А. С., <i>студент</i> <i>Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»</i>	50

22.	ВДОСКОНАЛЕННЯ 3D-ДРУКУ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ FDM ¹ Michał Bembenek, Doctor of engineering, Professor, ¹ Wojciech Gazda, absolwent AGH, ² Михайлюк В.В., к.т.н., ² Рудейченко О.О., студент ¹ AGH Науково-технічний університет, Краків, Польща. ² Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	53
23.	ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАДНЬОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ЗАСОБАМИ SOLID WORKS Л. О. Борушак, к.т.н., доцент, Р. В. Маркуш, студент Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	55
24.	ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ Бреус А. О., доцент, Торосян О. В., асистент, Сердюк О. Л., аспірант Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»	57
25.	ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Витвицький В. С., к.т.н., Бекіш І.О., к.т.н., доцент Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	58
26.	АНАЛІЗ САМОЗБУДЖЕННЯ ОСЬОВИХ КОЛИВАНЬ В ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ НА КОНІЧНИХ ГАЗОВИХ ОПОРАХ Віштак І. В., к.т.н., доцент, Петров О. В., к.т.н., доцент Вінницький національний технічний університет	61
27.	ГІБРИДНЕ СУБТРАКТИВНО-АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО Воронцов Б.С. , д.т.н., проф, Пасічник В.А. , д.т.н., проф, Цибуленко В.О., аспірант Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”	63
28.	СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА РОБОТИ ІЗ СЕРВІСАМИ ВІДОБРАЖЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ¹ Газдюк К.П, PhD, асистентка, ¹ Жихаревич В.В., к. ф.-м. н., доцент, ¹ Нігайчук А.С., магістрант, ² Нікітіна О.М., к. ф.-м. н., вчителька ¹ Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича ² Чернівецький ліцей №1 математичного та економічного профілів	65

29.	ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЙ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ¹ Гапонова О.П., <i>д.т.н., доцент</i> , ² Тарельник Н.В., <i>к.е.н., доцент</i> ¹ Сумський державний університет ² Сумський національний аграрний університет	67
30.	ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШНЕКІВ Гевко І.Б., <i>д.т.н., професор</i> , Ляшук О.Л., <i>д.т.н., професор</i> , Цьонь О.П., <i>к.т.н., доцент</i> , Станько А.І., <i>аспірант</i> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя	69
31.	ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ Гелетій В. М., <i>к.т.н., доцент</i> , Новіцький Я.М. <i>к.т.н., доцент</i> Національний університет «Львівська політехніка»	71
32.	МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕТОДОМ “POWER SKIVING” Грицай І.Є., <i>д.т.н., професор</i> , Кук А.М., <i>к.т.н., доц</i> Національний університет «Львівська політехніка»	73
33.	ПРОБЛЕМИ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНИХ ДРІБНОРОЗМІРНИХ РІЗЬБ В ВАЖКООБРОБНИХ МАТЕРІАЛАХ Джемалядінов Р.М., <i>викладач</i> Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова	75
34.	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОТС НА ПРОЦЕСИ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ЗАГОТОВКОЮ ПРИ СВЕРДЛІННІ Джемілов С.Ш., <i>к.т.н., доцент</i> , ¹ Бекіров Є.Л., <i>викладач</i> Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова	76
35.	ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ДОКРИТИЧНОГО РОСТУ ВОДНЕВО-МЕХАНІЧНИХ ТРИЩИН В ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЙ РЕАКТОРА Добровольська Л.Н., <i>к.т.н., професор</i> , Собчук Д.С., <i>к.т.н., доцент</i> Луцький НТУ	77
36.	ДІАГНОСТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ КОРПУСІВ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ Добровольська Л.Н., <i>к.т.н., професор</i> , Собчук Д.С., <i>к.т.н., доцент</i> Луцький НТУ	79

37.	ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТУРБОМАШИН ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ СЕРВІСІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ Добротворський С.С., <i>д.т.н., професор</i> , Кононенко С.М., <i>м.н.с.</i> , Басова Є.В., <i>к.т.н., доцент</i> , Добровольська Л.Г. <i>к.т.н., доцент</i> <i>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</i>	80
38.	ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ЛЕЗВІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ ШВІВ Olha Dvirna, Dr, Inż. <i>Uniwersytet Morski w Gdyni, Polska</i>	82
39.	МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФІРУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПОКРИТТЯМИ Зіньковський А.П., <i>д.т.н., професор</i> , Деркач О.Л., <i>к.т.н.</i> , Кобзар В.Л., <i>аспірант</i> <i>Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України</i>	84
40.	КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ Карабут В.М., <i>ст. викладач</i> <i>Національна металургійна академія України</i>	87
41.	СЕМАНТИЧНА МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВ: СЕРЕДИННИЙ ВИПАДОК ¹ Кирилович В.А., <i>д.т.н., професор</i> , ¹ Шубенко Р.В., <i>магістр</i> , ¹ Білоцький А.Д., <i>магістр</i> , ² Дімітров Л.В., <i>д.т.н., професор</i> , ¹ Мельничук П.П., <i>д.т.н., професор</i> ¹ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i> , ² <i>Технічний університет-Софія, м. Софія, Республіка Болгарія</i>	88
42.	ВПЛИВ УМОВ РІЗАННЯ НА ЗНОШЕННЯ І ДЕФОРМАЦІЮ РІЗУЧОГО ЛЕЗА ПРИ ОБРОБЦІ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ Ковальов В.Д., <i>д.т.н., професор</i> , Клименко Г.П., <i>д.т.н., професор</i> , Васильченко Я.В., <i>д.т.н., професор</i> , Шаповалов М.В., <i>к.т.н., доцент</i> , Антоненко Я.С., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна</i>	90
43.	МУЛЬТИАГЕНТНА PLM-СИСТЕМА ДЛЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ Копей В. Б., <i>д.т.н., доцент</i> , Вірстюк В. М., <i>магістрант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	92

44.	НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ Корбут Є. В., к.т.н., доцент <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»</i>	94
45.	ДОСВІД ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ЦЕНТРУ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ІФНТУНГ Корнута В. А., к.т.н., доцент, Буй В. В., Кулик Т. П. <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	96
46.	МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕРТЯ І ЗНОШУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ Куць Н.Г., к.т.н., доцент, Назарук В.В., аспірант <i>Луцький національний технічний університет</i>	99
47.	МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ПРУЖИН ПРИ СТИСКУВАННІ О.І. Лещенко, к.т.н., доцент <i>Приазовський державний технічний університет, Україна, Маріуполь</i>	100
48.	РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ Лукань Т. В., асистент, Палюх М. А. <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	102
49.	РОЗРОБКА ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА ІЗ ЧПК НА ОСНОВІ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ "DELPHI" Лукань Т. В., асистент, Петрик С.Ю. <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	104
50.	МОДЕЛЬ НАВЧАЛЬНОГО РОБОТА WCS3D MOVEO В СЕРЕДОВИЩІ RoboDK Медвідь Ю.В., інженер, Баланик С.М., студент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	105

51.	ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ПРИ ЧОРНОВІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ Мироненко Є. В., <i>д.т.н., професор</i> , Калініченко В. В., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Донбаська державна машинобудівна академія</i>	107
52.	МІСЦЕ І РОЛЬ ДИСЦИПЛІНИ «КОМП'ЮТЕРНА ХУДОЖНЯ ТА АНІМАЦІЙНА ГРАФІКА» У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ ЗА ОСВІТНЬОЮ ПРОГРАМОЮ «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА» Олег Онисько, <i>д.т.н., професор</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	110
53.	МОДЕЛЬ МОДУЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ПЛАЗМИ НА ОСНОВІ ARDUINO NANO Панчук В.Г., <i>д.т.н., професор</i> , Панчук А.Г., <i>к.т.н., доцент</i> , Бережанський Д.М., <i>студент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	112
54.	ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН Пилипець М.І., <i>д.т.н., проф.</i> , Васильків В.В. <i>д.т.н., проф.</i> , Пилипець О.М., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i>	114
55.	ТИПОВІ ЛОГІСТИЧНІ РІШЕННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ВИРОБНИЧИХ ЗАПАСІВ Пітулей Л.Д., <i>к.т.н., доц.</i> , Долішній Б. В., <i>к.т.н., доц.</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	117
56.	ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА Пітулей Л.Д., <i>к.т.н., доц.</i> , Лобур О.М., <i>магістр</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	118
57.	АКТУАЛЬНІСТЬ КОНЦЕПЦІЇ НАЦІОКРАТІЇ МИКОЛИ СЦІБОРСЬКОГО Пітулей Л.Д., <i>к.т.н., доц.</i> , Чудаков В.О., <i>магістр</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	120
58.	ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБТИСНЕННЯ КОНТАКТНИХ МЕТАЛЕВИХ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ СТРУМОПІДВЕДЕННЯ Повстяной О.Ю., <i>д.т.н., професор</i> ; Редько Р.Г., <i>к.т.н., доцент</i> ; Ткачук В.В. <i>д.т.н., професор</i> <i>Луцький національний технічний університет</i>	121

59.	<p>ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ Равська Н. С., д.т.н., професор, Корбут Є. В., к.т.н., доцент, Ковальова Л. І., к.т.н., доцент, Івановський О. А., к.т.н., доцент, Парненко В. С., к.т.н., ст. викладач, Родин Р. П., к.т.н., с.н.с <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»</i></p>	123
60.	<p>МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ЕЛЕКТРОЛІТУ В ЕЛЕКТРОХІМІЧНІЙ КОМІРЦІ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ¹Роп'як Л. Я., д.т.н., професор, ¹Романів М. М., аспірант, ¹Шовкопляс М. В., аспірант, ²Малінін В. Ю., аспірант, ¹Здерко О. Р., магістрант ¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу ²Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України</p>	125
61.	<p>УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ З'ЄДНАННЯ “ПОРОДОРУЙНІВНА ВСТАВКА – ШАРОШКА” ЗА РАХУНОК ЗМІНИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ПАРАМЕТРІВ ¹Сліпчук А.М., к.т.н., доцент, ²Яким Р. С., д.т.н., професор. ¹Національний університет «Львівська політехніка» ²Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка</p>	127
62.	<p>КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТНИХ ДОРІГ Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., ст. викладач <i>Національний університет “Львівська політехніка”</i></p>	129
63.	<p>КОРЕГУВАННЯ СХЕМ РІЗАННЯ БАГАТОПРОХІДНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ НА ОСНОВІ ЇХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ Тарас І.П., к.т.н., доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i></p>	131
64.	<p>РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВИБУХОВОГО ШТАМПУВАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ Третяк В. В., к.т.н., доцент, Мезенцева О. О., Горець М. В. <i>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»</i></p>	132

65.	ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ І ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПОКРИТТЯМ <i>¹Хейфець М. Л., д.т.н., професор, ² Колмаков А. Г., член-кореспондент РАН, ³Клименко С. А., член-кореспондент НАН України, ³Копейкіна М. Ю., к.т.н., ст. науковий співробітник</i> <i>¹Інститут прикладної фізики НАН Білорусі</i> <i>²Інститут металургії та матеріалознавства ім. О. О. Байкова РАН</i> <i>³Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України</i>	134
66.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОПОР ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ Четвержук Т.І., к.т.н., доцент; Полінкевич Р.М. к.т.н., доцент; Редько О.І., к.т.н., доцент <i>Луцький національний технічний університет</i>	136
67.	ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНІ ПРОЦЕСИ НА ГРАФІТОВОМУ КАТОДІ ПРИ ФОРМУВАННІ НАНОСТРУКТУР У ВАКУУМНІЙ ДУЗІ Широкий Ю.В., к.т.н., доцент, Руденко Н.В., к.т.н., доцент <i>Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»</i>	138
68.	ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ЧЕРЕЗ МЕХАНІЗМИ ТРАНСКОРДОННОГО СПІВРОБІТНИЦТВА Шкіця Л.Є., д. т. н., професор <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	141
69.	ВПЛИВ СПОСОБУ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ Шуляр І.О., Кустов В.В., Вірстюк А.Б. <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	143
70.	ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ЛАЗЕРНОЇ АБЛЯЦІЇ НАНОСЕКУНДНОЇ ТРИВАЛОСТІ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ МЕТАЛОРИЗУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ Ягьяєв Е.Е., канд. техн. наук, доцент, Акімов С.Н., аспірант <i>Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова</i>	145
71.	ДЕЯКІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН З МЕХАТРОННИХ МОДУЛІВ Якимчук М.В., д.т.н., професор, Риженко Є.С. , к.політ.н. <i>Національний університет харчових технологій, ДП «Фесто»</i>	147
72.	ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСВІТЛЕННЯ ОПТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ¹І. В. Яценко, д.т.н., професор, ²В. С. Антонюк, д.т.н., професор, ¹В. А. Ващенко, д.т.н., професор, ¹Є. М. Семенчук <i>¹Черкаський державний технологічний університет</i> <i>²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	150

СУЧАСНІ ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ НАДТВЕРДИМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Клименко С. А., член-кореспондент НАН України

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України

Удосконалення уявлень щодо механізмів зношування інструментів з надтвердими полікристалічними композитами на основі кубічного нітриду бору (РсВN) є основою розробки підходів до керування їх працездатністю при експлуатації. Забезпечивши мінімізацію температури в зоні різання, пов'язану з нею хімічну взаємодію матеріалів інструменту та деталі між собою, а також з киснем повітря із навколишнього середовища, знизивши інтенсивність механічного руйнування контактних ділянок інструменту від абразивної та адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом, можна принципово підвищити ефективність процесу обробки. Для вищезазначеного перспективним є нанесення на інструменти захисних покриттів, вимоги до яких обумовлюються наявними механізмами взаємодії у зоні різання.

Однією з основних тенденцій зі створення покриттів для різальних інструментів з РсВN є забезпечення нанорозмірності при формуванні як структурних елементів покриття, так і окремих шарів у багатошарових композиціях, що пов'язано з фактом істотної зміни фізико-механічних властивостей матеріалу зі зменшенням розміру його структурних складових.

Найбільш перспективними для застосування на різальних інструментах з РсВN є нанокompозитні покриття. Це зумовлено поєднанням високих значень фізико-механічних властивостей та стійкості до окислення й дисоціації хімічних сполук, що входять до їх складу, внаслідок особливостей структури.

У структурі багатошарових покриттів зростає площа поверхонь розділу між окремими фазами та межами зерен. Ці межі виступають перешкодами на шляху розповсюдження тріщин та дислокацій, зумовлюючи підвищення твердості й міцності матеріалу. Ще одним фактором, що сприяє підвищенню твердості покриття, є те, що сусідні шари можуть мати великі відмінності у значеннях модуля Юнга. Такі структури називають також надґратчастими і складаються вони, як правило, з двох шарів, які чергуються один з одним.

Знизити величину навантаження на контактних ділянках інструменту можливо, якщо конструкція покриття буде включати верхній шар покриття, що виконує функції приробки. Основними вимогами до такого шару є поєднання пластичності та міцності, при тому, що твердість його може бути істотно нижчою, ніж твердість основного робочого шару покриття. Можна припустити, що матеріал шару приробки повинен мати низькомодульну структуру, яка дозволить виконувати роль твердого мастила. Подібна конструкція покриття знижує ймовірність його тендітного сколювання в області, що прилягає до різальної кромки інструменту.

Подібно до механічних властивостей, термостійкість покриття значною мірою визначає їхню працездатність у різальних інструментах – зерна покриття, у тому числі і нанорозмірні, контактують з вільною поверхнею і межі зерен є провідниками

для кисню, зумовлюючи окислювальні процеси всьому об'єму покриття. Враховуючи температуру в зоні різання інструментом з PсBN, до підходів щодо забезпечення термостійкості покриття приділяється особлива увага.

Інший механізм підвищення стійкості інструменту, призначеного для роботи у високошвидкісному діапазоні умов обробки, реалізується при використанні самоадаптивних покриттів. Основна ідея полягає не у запобіганні окиснення, а у використанні цього явища для управління параметрами контактної взаємодії при різанні і термобаричного навантаження у зоні контакту. Подібні покриття у процесі різання окислюються, утворюючи вторинну поліоксидну структуру (трибоплівку), що виграє роль твердого мастила. Основний напрямок подальших досліджень такого підходу пов'язаний зі створенням систем з хімічно стабільними компонентами при температурах понад 1300 °С.

Зменшити температуру у контактній зоні різання інструментом з PсBN можливо за рахунок використання покриття з аморфно-кристалічного нітриду бору $\text{BN}_{\text{ам}}$. Ефект досягається за рахунок близькості коефіцієнтів лінійного розширення елементів системи, що зменшує внутрішні залишкові напруження в покритті, зменшення крихкості матеріалу та модуля Юнга, що підвищує пружні властивості покриття та стійкість до абразивного стирання, зниження коефіцієнта тертя, що сприяє мінімізації термобаричного навантаження на робочих ділянках інструменту.

Ще один підхід до підвищення стійкості інструменту при використанні покриття як проміжного середовища, що надає прямий вплив на параметри процесу різання, це введення до складу покриття компонентів – інгібіторів хімічної взаємодії в зоні контакту інструментального композиту з обробленим матеріалом. Пригнічуючи хімічно обумовлений механізм зношування різального інструменту, такі покриття збільшують стійкість інструменту з PсBN при високошвидкісному різанні або при обробці конструкційних сплавів, компоненти яких демонструють високу хімічну активність в парі з PсBN.

На основі великої кількості досліджень механізму впливу різних покриттів на закономірності зношування інструментів з PсBN можна виділити кілька взаємопов'язаних підходів, результати яких є обґрунтуванням для створення різних перспективних систем покриттів: – вибір структурних складових покриття, які в процесі обробки різанням на повітрі забезпечують утворення на робочих поверхнях інструменту високотемпературних поліоксидних трибоплівок, що відіграють роль твердого мастила і ефективно знижують інтенсивність зношування інструменту; – введення до складу покриття сполук, які є інгібіторами реакцій хімічної взаємодії, що дозволяє зрушити початок активної хімічної взаємодії у зоні обробки до більш високих швидкостей різання; – зниження коефіцієнту тертя та контактних навантажень на ділянках контакту за рахунок твердих мастил та шарів приробки покриття; – забезпечення необхідного структурного стану покриття (аморфно-кристалічного або наноструктурованого).

THE SMART PRODUCTION SYSTEMS MODELLING LABORATORY: COMPETENCY DEVELOPMENT, INNOVATIONS, AND RESEARCH ON INDUSTRY 4.0

Slawomir Lusinski, PhD, Associate Professor

*Faculty of Management and Computer Modelling, Kielce University of Technology,
Poland,*

Smart Production Systems Modelling Laboratory at the Centre for Science

The digital transformation in the manufacturing industry driven by the Industry 4.0 concept is a challenge for technical universities both for teaching and research. Collaboration with industry on implementation projects and student's education requires a more sophisticated, industrially relevant environment in the case of key enabling technologies for technology development and demonstration (Technology Readiness Level 6). Therefore, the Kielce University of Technology developed a new laboratory equipped with a training and research platform developed as a changeable and reconfigurable assembly system. This "factory in a lab" reflects the new paradigm of the Industry 4.0 concept implemented with the latest standards in automation & control and production management. The Laboratory supports the development and implementation of enabling Industry 4.0 technologies and applications, including IIoT, continuous online monitoring (Web, VR, AR), computer simulation and analysis of machines and process performance data (digital twinning); cognitive computations.

The presentation deals with implementing the concept of Learning Factory to support teaching and training on relevant competencies for Industry 4.0 and developing and implementing Industry 4.0 solutions. In addition, perspectives on international cooperation within the newly established Smart Production Labs Network are presented (<https://smartproduction.tu.kielce.pl>). The international network of university laboratories is dedicated to researching and developing leading technologies for the Industry 4.0 concept.

TREND OF APPLICATION OF SERVICE ROBOTS FOR INSPECTION, PLANNED MAINTENANCE AND REMOVAL OF DISRUPTIONS IN PIPING SYSTEMS

Isak Karabegović¹, Predrag Dašić^{2,3}

¹*Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina,*

²*SaTCIP Publisher Ltd, Serbia*

³*Faculty of Information Technology and Engineering, Serbia*

The world is currently at the beginning of the fourth industrial revolution - Industry 4.0, whose ultimate goal is to make everything intelligent, both production processes in the industry and system maintenance. The environment around us has plenty of piping systems such as: water, gas, oil, sewage, etc., which need to be continuously maintained. In other words, they require periodic inspections to identify errors such as corrosion, cracks, deformations, or obstruction with obstacles [1].

Service robots for inspection and maintenance are very convenient for the inspection of piping systems. In addition, they are a point of interest to many researchers in the field, so there are countless developed service robots that are currently in use. Service robots for inspection of piping system are used for inspection and provide visual information from inside the corresponding pipe. When the service robot moves through the pipe, it records the inside with a camera and provides us with visual information, i.e., provides a video of the inside of the pipe where we can locate the error. We can use the video later to establish the condition of the recorded piping system and make the right decision what to do. The work presents the trend of application of service robots for inspection. A number of constructions of these service robots that are already in implementation are shown. Service robots effectively reduce all problems related to the maintenance, cleaning and inspection of piping systems. The growing trend of service robots application is due to the implementation of basic technologies of Industry 4.0 because its aim is to receive the information about the operation of a system all along. Various robotic systems have been developed for inspection and examination of piping systems and plants that are dangerous to workers' health. Service robots are controlled by camera, sensor or simple tools. Most service robots for inspection are intended for tanks, piping systems for all materials for inspection of ventilation openings and pipes of air systems, sewer systems, nuclear plants, or work in aggressive environments. It is expected that the development and application of service robots for inspection will continue to grow in the nearest future. Service robots effectively reduce all problems related to the maintenance, cleaning and inspection of piping systems [2].

References:

1. Karabegović I., Husak E., Predrag D.: The Role of Service Robots in Industry 4.0 - Smart Automation of Transport, International Scientific Journal Industry 4.0, Vo.4. Iss.6. pp.290.292
2. Karabegović, I., Kovačević, A., Banjanović-Mehmedović, L., Dašić, P.: Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing, IGI Global, Hershey, PA, USA, (2020) <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-integrating-industry-business/237834>

THE ECOSYSTEM AS A TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF THE REGION OR THE "PILSEN" TYPE ECOSYSTEM

ЕКОСИСТЕМА ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ РЕГІОНУ АБО ЕКОСИСТЕМА ТИПУ «ПІЛЬЗЕНЬ».

Milan Edl

Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia, Czech Republic

The ecosystem is the driving force of every region and is very important for the development of the social structure, level of education, standard of living and many other aspects of every society in general. The paper focuses on the ecosystem of western Bohemia, which extends beyond the borders of the Czech Republic and also shows cooperation with Bavarian entities, regional authorities. It focuses on the description of effective cooperation of all elements of the ecosystem, such as educational institutions at all levels (primary schools, secondary schools, universities), industrial partners, municipalities, regional authorities, chambers of commerce on both sides of the border. The development of digital innovation centres is also a modern trend and has a significant impact on the widest possible involvement of educational and research programs for monitoring and comprehensive research of regional ecosystems. So, in essence, we have a tool to improve the development of the region, which is based on the ecosystem.

Екосистема є рушійною силою кожного регіону і дуже важлива для розвитку соціальної структури, рівня освіти, рівня життя та багатьох інших аспектів кожного суспільства загалом. Стаття присвячена екосистемі західної Богемії, яка виходить за межі Чеської Республіки, а також показує співпрацю з баварськими організаціями та регіональними органами влади. Вона зосереджена на описі ефективної співпраці всіх елементів екосистеми, таких як навчальні заклади всіх рівнів (початкові школи, середні школи, університети), промислові партнери, муніципалітети, регіональні органи влади, торгово-промислові палати по обидва боки кордону. Розвиток центрів цифрових інновацій також є сучасною тенденцією і надає вагомий впливу до якнайширшого залучення освітніх та наукових програм для моніторингу та всебічного дослідження регіональних екосистем. Отже по суті маємо інструмент для вдосконалення розвитку регіону, який за підґрунтя має екосистему.

IoT BASE ON ARDUINO MODULES IN ENERGY MONITORING

BARZ Cristian, *cristian.barz@ieec.utcluj.ro*

ERDEI Zoltan, *ZoltanErdei@Eaton.com*

ONYSKO Oleh, *onysko.oleg@gmail.com*

ŽIVKOVIĆ Predrag, *pzivkovic@masfak.ni.ac.rs*

LATINOVIC Tihomir, *tihomirlatinovic@live.com*

POP-VĂDEAN Adina, *adinaluciapopvadean@yahoo.com*

Abstract: IoT principles allows to install a network of sensors to maintain a balanced energy consumption, detection of electricity, temperature losses, online monitoring of utilities and data storage, temperature and electricity control on each area and calculating the specific consumption much more accurately. Energy monitoring is using a dashboard with data acquisition to keep track of energy consumption according to the season, weather conditions and the flow of use of electrical appliances in the institution. The paper presents a WEB application has at base Arduino modules, to monitor the sensors used in public institution and the user is able to flexibly configure indicator and chart widgets for a better analyze of date for an efficiency use of energy.

Keywords: energy monitoring, Arduino modules, IoT, network sensors

SYNERGETIC STUDY ON IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING SEAT TRACK TYPE AIRCRAFT PARTS

Cosma Marius, *marius.cosma@imtech.utcluj.ro*

Pașca Nicolae Ioan, *Nicolae.Pasca@universalalloy.com*

Darabă Dinu, *dinu.daraba@imtech.utcluj.ro*

Abstract: This paper presents the concept of designing and manufacturing a universal modular for the execution of approximately 600 aircraft parts called Seat Track and the presentation of a processing with the new strategy for improving the technological process. The idea of designing this device started from the large number of device configurations used to process Seat-Track parts and the time lost between changing configurations on 5 axes CNC machine. After analyzing the devices used for this family, it was concluded that the use of a pneumatically operated device would be the most appropriate solution. Thus, the part will be able to be processed in a single grip compared to the current version when the part is processed in two grips. In addition, this device will be a universal one, on which all types of parts in this family can be processed.

Keywords: manufacturing, device, CNC machine, technological process, aircraft parts

PHASE CHANGE MATERIALS: THERMAL ENERGY STORAGE APPLICATIONS AND TECHNOLOGICAL CHALLENGES FOR HEAT RECOVERY AND STORAGE

¹Cvetanović G., ²Živković P., ¹Rašković P., ¹Stojiljković S., ²Janevski J., ³Škundrić J.

¹University of Niš, Faculty of Technology

²University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering

³ University of Banjaluka, Faculty of Mechanical Engineering

Abstract:

Thermal energy storage (TES) technology have the great potential to balance the demand and supply overcoming the intermittency and fluctuation nature of heat sources, and chance to make a flexible, efficient and reliable thermal energy system. Advances in TES techniques using phase change material (PCM) is gaining attention among researchers, due to possibility to reduce energy consumption and to promote the use of renewable energy sources such as solar energy. PCM technology is one of the most promising technologies available for the development of high performance and energy-efficient buildings and, therefore, considered as one of the most effective and ongoing fields of research. Mobilized-Thermal Energy Storage (M-TES) systems, as the system of TES are an attractive solution to supply heat by recovering and transporting the low-temperature industrial waste heat (IWH), having the potential to reduce the CO₂ emissions and costs of energy consumption. This leads to more efficient industrial activities, improves the quantity of low carbon energy consumed for heat generation. The use of M-TES for providing heat can decrease the primary energy requirement, exergy losses and the CO₂ emissions, in good way compared to conventional heating facilities using fossil fuels.

References:

1. Wang T.C., Luan W.L., Wang W., Tu S.T., *Waste heat recovery through plate heat exchanger based thermoelectric generator system*, Appl. Energy 136 (2014) pp. 860-865.
2. Steinmann W-D, Laing D, Tamme R. *Development of PCM storage for process heat and power generation*, J Sol Energy Eng 2009;131:041009–41014.
3. G. Cvetanović, M. Živanović, S. Stojiljković, *Solar energy storage with phase change changes materials for adsorption cooling*, The Nineth Serbian Ceramic Society Conference »Advanced Ceramics and Application«, September 20-21, 2021.
4. Z. Elmaazouzi, M. El Alami, A. Gounni, EG. Bennouna, *Thermal energy storage with phase change materials: Application on coaxial heat exchanger with fins*. Mater Today: Proc 2020;27:3095–100

Keywords: thermal energy storage, phase change materials, waste heat, M-TES systems, heat recovery

WOOD BIOMASS MARKET IN SOUTHEAST SERBIA

¹Janevski J., ¹Živković P., ²Tomić M., ³Škundrić J., ⁴Cvetanović G.

¹University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences

³University of Banjaluka, Faculty of Mechanical Engineering

⁴University of Niš, Faculty of Technology

Biomass potential is available at the whole territory of the Republic of Serbia. The majority of renewable energy – 13% is biomass, the redundant are solar energy, energy of wind as well as thermal energy. Wood biomass is mostly located in the area of the central and southeast Serbia. Biomass potential (in the form of pellet, briquettes, chips...) is dynamic category and in order to increase it, it is necessary to undertake adequate activities for the use of uncultivated land, and for the use of marginal land in the biomass production for energy sector purposes.

This work presents a theoretical and practical framework for wood biomass market in southeast Serbia. Serbia began to produce wood pellets in 2007. with the opening of one factory in the region of Sumadija. Production continued to develop with 3 more factories opened. In 2013. the number of companies increased when 17 were opened which represents the best year for investment of pellet plants in Serbia. Production of briquettes and pellets depend on following factors: methods of collecting, raw materials, collection techniques, interest on loans, transport and storage, lines for molding, extrusion technology, packaging, performance line, the number of workers, the value of the facility and equipment, etc. When everything is taken into account the cost of production of briquettes and pellets from wood is 100€/t, the selling price of briquettes and pellets in bulk and wholesale amounts 150 - 180 €/t packed in sacks, on the domestic market. Expansion of production capacities and the number of companies was the largest in the production of wood pellets during the last ten years. Beside the relatively high number of producers, the second important characteristic of production of wood fuels is the fact that their production in southeast Serbia ranges from traditional to contemporary way of production, i.e. that traditional and modern technologies are used in their production. Furthermore, the number of companies with traditional way of production is much higher than those wood fuels are produced by contemporary technologies.

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Contract No. 451- 03-9/2021-14/200109).

References:

1. Oka S., Jovanović Lj., *Biomass, Renewable Energy*, Institute of Nuclear Sciences „Vinča“, 1997.
2. Ćosić B., Stanić Z., Duić N., Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia, *Energy* 36 (2010), pp. 2017-2028.
3. Public Enterprise “Srbijašume”, www.srbijašume.co.rs
4. Forest Products Laboratory, Wood Biomass for Energy, State&Private Forestry Technology Marketing Unit, Madison, 2004.

5. Đereg N., Kalmar Z., Renewable energy in Serbia, recommendations, potentials and criteria, decembar 2008, Subotica.

Keywords: biomass, wood, market, production

OPTIMIZATION SYNTHESIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS PARAMETERS FOR MANUFACTURING OF THE MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS

¹Yaroslav Kusyi, *DScTech, Associate Professor*, ¹Oleksii Lanets, *DScTech, Professor*, ¹Zinko Andrii, *student*, ²Benea Marius Calin, *PhD, Associate Professor*, ³Sava Cipriana, *PhD, Associate Professor*

¹*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

²*Politehnica University Timișoara, Romania*

³*“Dimitrie Cantemir” Christian University, Timisoara, Romania*

Improving the competitiveness of products in market conditions, technological support of quality parameters, operational and reliability indicators to prevent failures or transition to the limit state of engineering products due to non-renewable processes of material degradation has an important place for modern mechanical engineering [1-3].

Reliability indicators and related operational characteristics of products are provided during their manufacture using the technological routes of surface treatment of individual products in accordance with two basic principles of design processes: object-oriented and functionally-oriented [1, 4].

At manufacturing of mechanical engineering products regulated reliability indicators provide, along with indicators of machining accuracy and surface layer strength. In particular, they are the reliability function $P(t)$, gamma-percentile operating time to failure $P(t_\gamma)$ etc [1, 2].

Providing regulated reliability indicators require optimization synthesis of process parameters at design stage of Product Life Cycle.

Synthesis involves the following tasks [1, 5, 6]:

— substantiation of certain reliability indicators for machine products in relation to the regulated indicators of machine reliability;

— determining the limit value of the machining time at a certain technological transition (technological operation) of mechanical processing of the product according to certain reliability indicators;

— providing the optimal modes of product processing according to the limit value of the machining time using the calculated reliability indicators.

The obtained indicators of product reliability should be consistent with the regulated initial parameters of reliability after mathematical modeling of the probability of providing quality parameters of the mechanical engineering product on the technological operations of its machining. It is provided by fulfilling the following conditions [1]:

$$\begin{aligned} P_{P(W)_i}(r, g, \dots, t) &\geq [P_{P(W)}]; P_{MT_i}(r, g, \dots, t) \geq [P_{MT}]; \\ P_{MCF_i}(r, g, \dots, t) &\geq [P_{MCF}]; P_{MCT(k)_i}(r, g, \dots, t) \geq [P_{MCT}], \end{aligned} \quad (1)$$

where $P_{P(W)_i}(r, g, \dots, t)$, $P_{MT_i}(r, g, \dots, t)$, $P_{MCF_i}(r, g, \dots, t)$, $P_{MCT(k)_i}(r, g, \dots, t)$ are the probabilities of providing regulated quality parameters on the i -th technological operation of the technological process of product manufacturing when the limit state isn't yet unattainable by a machine tool, metal-cutting fixture, k -th metal-cutting tool in general or its (their) elements in particular; $[P_{P(W)}]$, $[P_{MT}]$, $[P_{MCF}]$, $[P_{MCT}]$ are admissible probability of providing a certain indicator of the reliability of the product, machine tool, metal-cutting fixture and metal-cutting tool.

The parameters of the technological operation (elements of the cutting modes, the tool durability at the limiting technological step) are optimized if condition (1) wasn't provided [1, 2].

This approach allows to take into account the reliability indicators (calculated and regulated) and simplify the search for the limits of the operating time in the design of technological steps and operations in the technological process of the product manufacturing. Elements of cutting modes are optimized according to the established limit on the machining time using passport data of the machine [7].

The limit value of the machining time for the technological steps (operations, etc.) is determined at the stage of design and technological preparation of production using the specified regulated reliability parameters and the established law of their distribution for a particular technological operation [1, 7].

The maximum of the machining time on a certain technological operation is the objective function of the optimization task and the function of the synthesized parameters [1]:

$$t_{0max}(t, S, n(V)) \rightarrow max, \quad (2)$$

where t , S , n , V are the elements of the cutting modes: cutting depth, feed, rotary speed, cutting speed.

A system of equations for the optimization task in the general case for regulated gamma-percentile operating time to failure [1]:

$$\begin{cases} P(t) = e^{-(A \cdot t)}; \\ \{P(t) = P(t_{\gamma_i})\} \end{cases} \quad (3)$$

where $P(t) = e^{-(A \cdot t)}$ is a reliability function, obtained on the basis of the solution of the system of differential equations Kolmogorov-Chapman, for a certain technological operation; $P(t_{\gamma_i})$ – regulated gamma-percentile operating time to failure.

The solving of the optimization task for the design of the technological process of manufacturing products [1]:

$$t_{0k} \leq [t_0], \quad (4)$$

where t_{0k} – the machining time for the implementation of the k -th technological step ($k = 1, \dots, n$); $[t_0]$ – the limit value of the machining time using the regulated reliability indicator at a certain law of its change for a certain product.

The machining time on technological operations calculated:

– using the feed per spindle revolution of the metal-cutting tool (workpiece of product) [2, 6]:

$$t_0 = \frac{L_{mms}}{S_{0\,pasp.} \cdot n_{pasp.}}, \quad (5)$$

– using the feed per minute of the metal-cutting tool [2, 6]:

$$t_0 = \frac{L_{mms}}{S_{\min. \, pasp.}}, \quad (6)$$

where L_{mms} is an estimated length of the main machining step of the machine tool; $S_{0\,pasp.}$, $S_{\min. \, pasp.}$, $n_{pasp.}$ are the values of the feed per spindle revolution, feed per minute and spindle speed using the passport data of the machine tool:

The estimated length of the tool stroke remains constant when processing a specific surface of the part at the technological transition of a particular technological operation [3].

For a constant value of an estimated length of the main machining step of the machine tool ($L_{mms} = \text{const}$), the optimization criteria [1]:

$$S_0 \geq [S_0]; n \geq [n]; S_{xb.} \geq [S_{xb.}]; T_{MPI} \leq [T_{MPI}], \quad (7)$$

where $[S_0]$, $[n]$, $[S_{\min.}]$ are the limits values of the feed per spindle revolution, feed per minute and spindle speed for a particular method of product processing and providing the required accuracy, quality of the surface layer of the product and reliability indicators; T_{MT} , $[T_{MT}]$ are respectively the actual and limit value of the tool durability.

The developed technique of optimization synthesis of the technological process parameters for manufacturing of the mechanical engineering products is adapted for manufacturing of case details. In particular, the developed technique is realised for processing of gearbox case K 02.106 manufactured at “Lvivagromashproekt” (Lviv, Ukraine).

References:

1. Kusiya, Ya.: Scientific and applied bases of technological inheritability of quality parameters for providing of operational characteristics of products: Thesis of Doctor of technical sciences. Ukraine, Lviv, 2021. – 432 p. [in Ukrainian]
2. Bagge, M.: Process planning for precision manufacturing. An approach based on methodological studies: Doctoral Thesis, Sweden, Stockholm, 2014. – 72 p.
3. Gupta, D. P., Gopalakrishnan, B., Chaudhari, S. A. & Jalali, S.: Development of an integrated model for process planning and parameter selection for machining processes. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, No. 21, 2011. – P. 6301–6319.
4. Stupnytskyy, V.: Features of Functionally-Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 2, Issue 9, 2013. – P. 1181–1186.
5. Yakovyna, V.S.: Influence of RBF neural network input layer parameters on software reliability prediction. 4-th International Conference on Inductive Modelling ICIM'2013, Kyiv, 16–20 September 2013: Proceedings. – P. 344–347.
6. Yoshimura, M.: System Design Optimization for Product Manufacturing. *Concurrent Engineering*, Vol. 15, No. 4, 2007. – P. 329–343 DOI: 10.1177/1063293x07083087.
7. Klocke, F.: *Manufacturing Processes 1: Cutting*. Berlin, Springer-Verlag, 2011. – 504 p. DOI: 10.1007/978-3-642-11979-8.

INNOVATIVE CAISSON STRUCTURE FOR WELDING WORKS IN MARINE CONDITIONS

² Moczarny W., *M.Sc, Eng.*, ^{1,2} Nycz D.B., *Ph.D., Eng.*, ^{1,2} Orzechowski W., *M.Sc, Eng.*, ³ Pawełek R., *M.Sc, Eng.*

¹ *Technical Institute, Jan Grodek State University, Sanok, Poland*

² *ENDEGO Ltd., Sanok, Poland*

³ *TARKON Ltd., Tarnobrzeg, Poland*

The subject of this work is the design and strength calculations of the caisson (tank) structure. The caisson is designed for welding works on mooring piles embedded in the river bed.

The piles (11 pieces) are embedded in the bed of the Schelde River in Antwerp, Belgium (Fig. 1). The embedment of the piles is defined in relation to the so-called TAW level (*niderl.* Tweede Algemene Waterpassing). TAW is the reference height used in Belgium since 1946, against which height measurements are expressed in metres. The zero value of TAW corresponds to the average water level at low tide in Ostend, Belgium.

The piles are made of X70 steel. Their outer diameter is 2.60 ± 0.05 m and total length is 41.5 m. The pile consists of two segments, bottom and top, with wall thickness of 60 mm and 40 mm respectively. They are vibrated into the river bottom to an average depth of 25 m (bottom level varies from -6.93 m to -8.72 m TAW). After driving, they are filled with sand to the level of +0.50 m TAW and with C35/45 ES3 concrete above. A 20 mm thick capping plate is welded to the top of the piles. The highest pile level is +9.00 m TAW.

At the pile embedment site (Fig. 1), the water level changes twice per day, from -0.26 m TAW to +7.00 m TAW. The average river flow velocity is $120 \text{ m}^3/\text{s}$. The change in water level is the reason of the caisson application.

The main design consideration was to develop a way to attach the caisson to the piles while minimizing interference into the piles structure. The caisson structure (Fig. 2 and 3) has a height of 7.45 m and an outer diameter of 5.3 m. It consists of three rings and two half cylindrical shells. The rings (each consisting of 4 parts) are attached to the piles. The strength calculations of the caisson structure were performed in the OptiStruct Analysis environment of the HyperWorks package version 2017, using the quasi-static nonlinear calculation algorithm.

The numerical calculations were carried out in two stages. In the first stage, rings were analyzed for which:

- 1) the pre-tension N_p in M30 bolts class 8.8 necessary to hold the caisson on the pile under extraordinary buoyancy force F_w was determined and the effort of the rings was checked,
- 2) a single ring with emergency safety brackets on a pile was checked under extraordinary buoyancy force F_w .

In the second stage, the caisson shell structure was analyzed for which the effort was checked, i.e.:

- 1) under hydrostatic pressure load (full immersion), pressure resulting from water flow and service load (workers with equipment),
- 2) under gravity load (no immersion) and service load (workers with equipment).

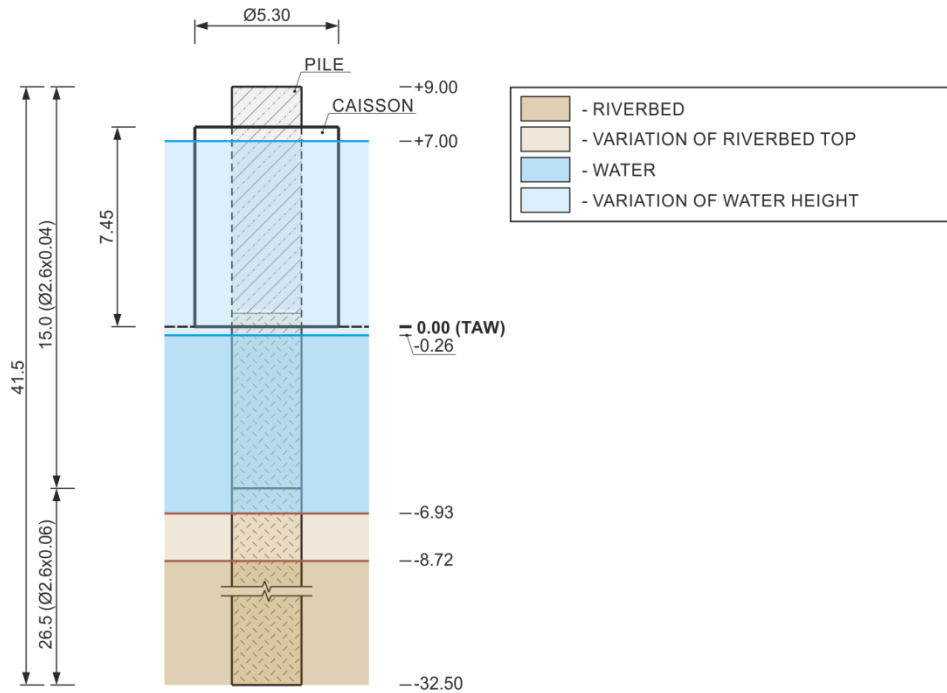


Fig.1. Scheme of pile embedment and caisson location

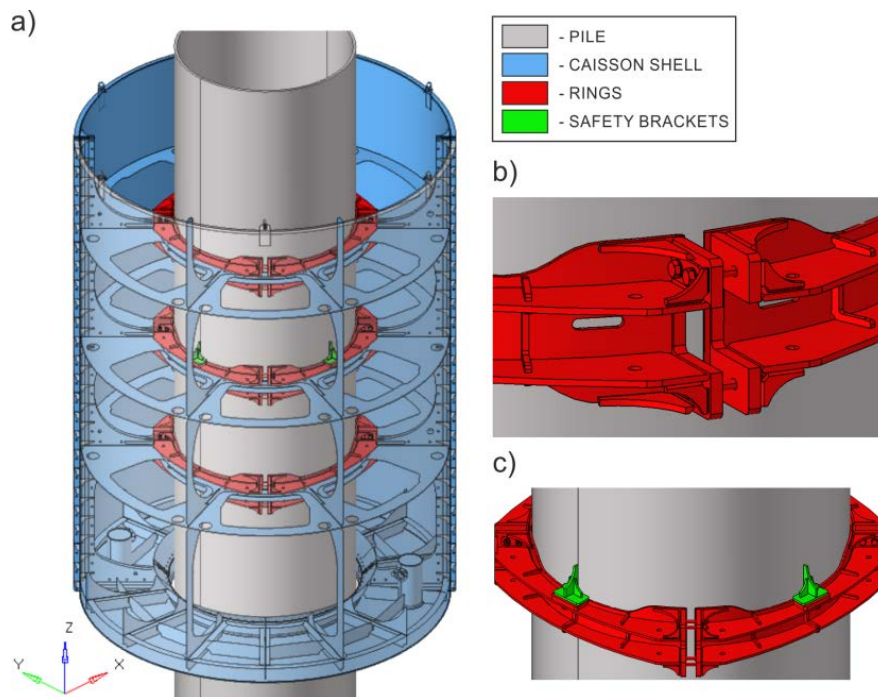


Fig.2. Caisson structure attached to pile with nominal diameter: a) isometric top view (half of caisson shell is semi-transparent); b) rings connection - zoom; c) middle ring with security brackets



Fig.3. Installation of caisson structure attached to pile

References:

1. Norberg C., Pressure Distributions around a Circular Cylinder in Cross-Flow, Symposium BBVIV3, Port Arthur, Queensland, Australia, December 2002.
2. DNV-RP-C208: Determination of Structural Capacity by Non-linear FE analysis Methods. 2013.
3. NASA/TM—2012–217454: Aerospace Threaded Fastener Strength in Combined Shear and Tension Loading. March 2012.
4. VDI 2230 Part 1: Systematic calculation of high duty bolted joints. Joints with one cylindrical bolt, 2003.

INVESTIGATION OF THE STRESS STATE OF SUPER COMPACT MECHATRONIC SATELLITES OF A CYCLOIDALIC REDUCER

Oleh Onysko¹, DSc., Professor, Cristian Barz², PhD., Associate Professor, Anatolii Panchuk¹, PhD., Associate Professor, Marko Penderetskyi¹, student

¹Ivano-Framkivsk National Technical University of Oil and Gas

²Technical University of Cluj-Napoca, North University Center of Baia Mare, Romania

Nowadays the legged robots are becoming too popular for differential groups of modern human society. Children belong to one of this groups and Pet simulated robot can be very popular in the nearest future. Most of the natural pets are small: dogs and

cats. But they are brisk so the pet simulated robots must be prompt too. Therefore robotics engineering deal with those kind of toys have to solve a lot of problem of strength materials and compact and lightweight drives for ones. One of the difficult problems is to design ultra-lightweight and high-efficiency compact cycloidal reducer. It is very important part of the engines [1, 2].

The cycloidal reducers have a high reduction ratio, high efficiency, high stiffness and are a compact size, compared to conventional reducer mechanisms, so that they are attractive candidates for limited space and precision applications such as a little toy – Pet simulated 4-legged robots. Therefore it is very important to design as mutual device consists from modern mini brushless direct current electrical motor (1) and ultra small dimension 1-stage reducer (2) available to operate together with the output motor shaft. Motor MultistarElite 3508-268 KV Multirotor is usable for realize it. Their weight – 78,6 grams, diameter – 41,8 mm, shaft diameter – 4 mm (Fig. 1.).

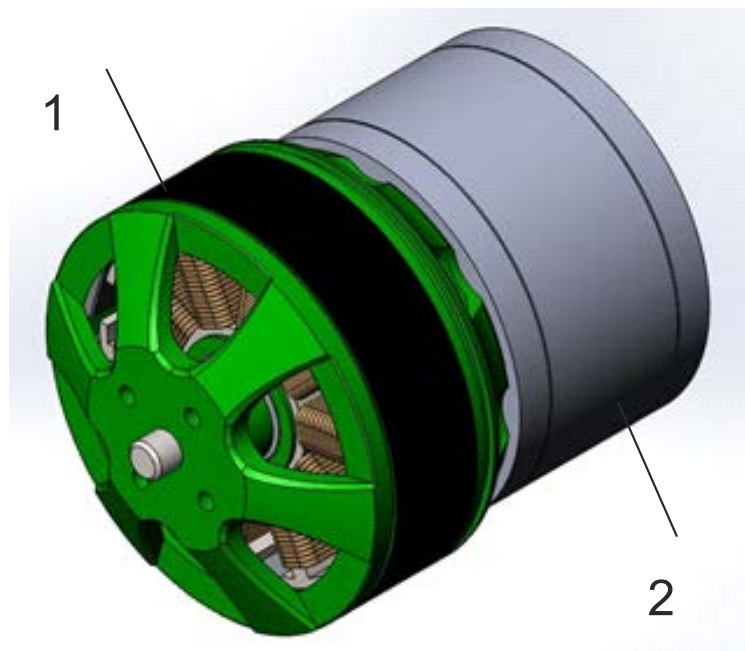
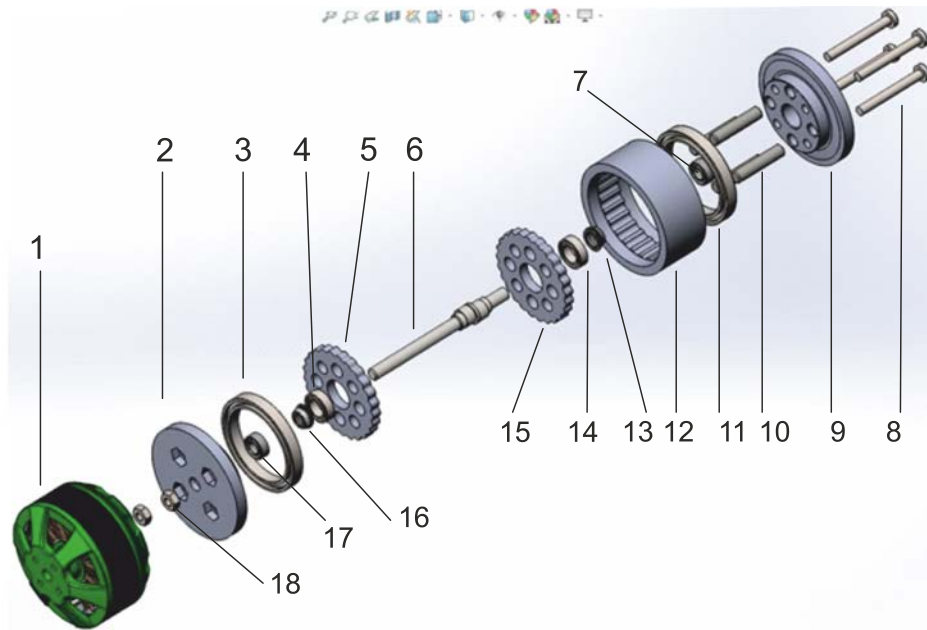


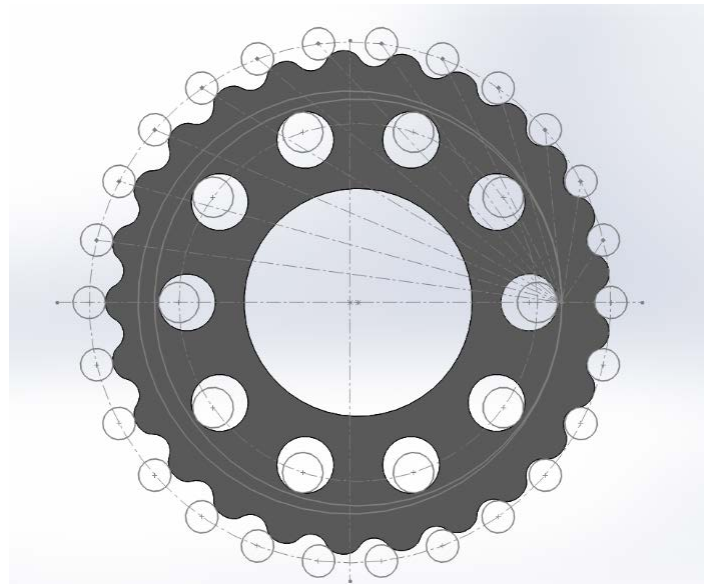
Fig.1. Assembly of the BLDC electrical motor and the Cycloidal Reducer

Figure 2 shows 18 parts of the cycloidal reducer developed by authors. Detail development every of ones permit to receive their small sizes and compact assembly of reducer model design as a result. As we can see the model includes two cycloidal discs 4 and 15, because it let to minimize the vibration and to improve the wear resistance of the gear.

Figure 3 shows the development environment system information (*SolidWorks*) about cycloidal disc major diameter. It is 32 mm. We have to take into consideration this value to calculation the number of cycloidal tooth and gear as a result.



*Fig.2. Exploded view of the Cycloidal Reducer Developed by Authors.
 1 – Brushless DC electric motor, 2 – First Support end, 3 – First output bearing,
 4 – First turning bearing, 5 – First Cycloidal disc, 6 – Input Shaft (Crank or
 eccentric shaft), 7 – Crank bearing, 8 –Screws, 9– Second support end, 10 – Slow
 speed shaft rollers, 11– Second output bearing 12 – Internal pins wheel (Output Slow
 speed shaft), 13– Second bushing, 14– Second turning bearing 15 – Second Cycloidal
 disc, 16 – First bushing, 17– Input shaft bearing, 18 – Four nuts (for screws and for
 motor-reducer connecting)*



*Fig.3. Assembly Cross-section Sketch of the Ultra Compact Cycloidal Reducer
 Developed by Authors*

Figure 4 shows a diagram of the stresses in the fingers in cross section next to the satellite, at the base of the finger. Stresses are caused by the reaction of a torque (moment of force).

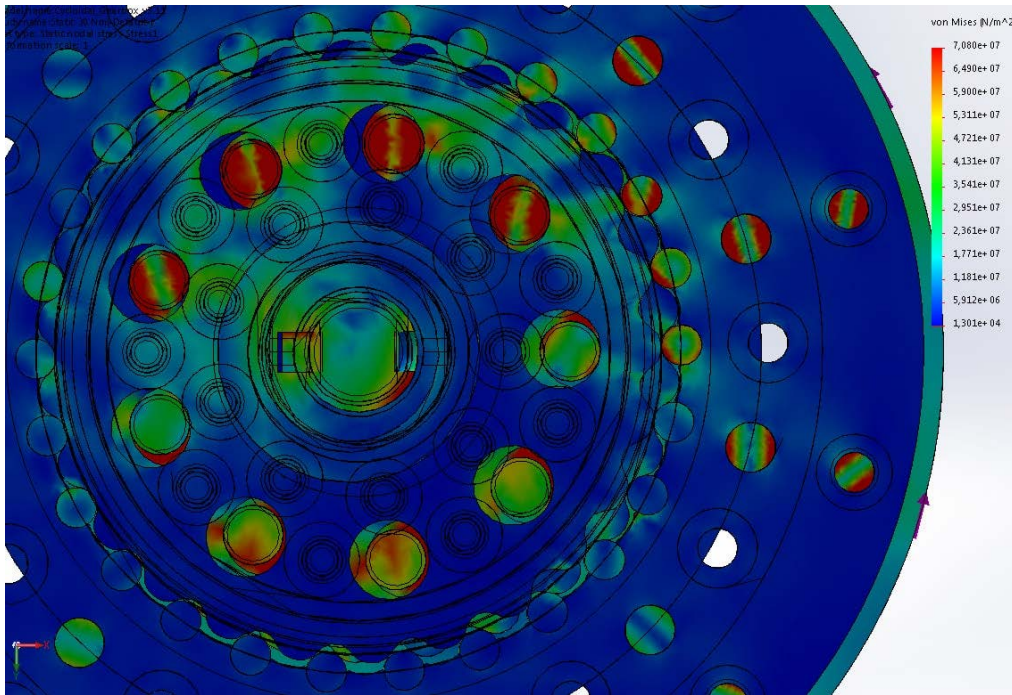


Fig.4. Stress diagrams in a cycloid disk

According to the simulation results:

1. The highest stresses, about 63 MPa, occur in contact with the pins. Also in one of the root there is a sharp increase in stresses reaching 93 MPa, which is beyond the strength of caprolon (variant of nylon).
2. The occurrence of stresses in this zone can be caused by the deformation of the satellite and the resulting changes in the direction of forces.
3. At 40 Nm, which can develop the motor, the stresses in the satellite reach close to the endurance limits for the selected material

References:

1. M. Blagojević, M. Matejić, N. Kostić, N. Petrović, N. Marjanović, B. Stojanović. Theoretical and experimental testing of plastic cycloid reducer efficiency in dry conditions. – Kragujevac, Serbia, 2017 – 9 p.
2. Patrick M. Wensing, Albert Wang, Sangok Seok, David Otten, Jeffrey Lang, Sangbae Kim. Proprioceptive Actuator Design in the MIT Cheetah: Impact Mitigation and High-Bandwidth Physical Interaction for Dynamic Legged Robots. IEEE Transactions on Robotics (IEEE T ROBOT), 2017 – 14 p.

Petković D., Madić M., Radenković G., Živković P.
University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia

Abstract: Machining processes are depended on many factors such as tool material and geometry, workpiece geometry and material, complex machining requirements, producer recommendations. Production engineers are often faced with a various selection problems. One of them is cutting fluid selection process which plays an important role in cutting process. This process can be considered as a multi criteria decision problem (MCDM). In order to achieve an optimum machining performances it is needed an advanced approach. Therefore it takes a quick and efficient solution to the multi criteria decision problem. A decision support system is proposed in order to help decision makers in solving this type of problems. In this study the decision support system is used to rank the cutting fluids respect to several criteria and help to select the most appropriate one.

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Contract No. 451- 03-9/2021-14/200109).

References:

1. M. Radovanović, M. Madić, *Methodology of neural network based modeling of machining processes*, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, Vol. 2, No. 2, pp. 77-82, 2010.
2. R. V. Rao: *Decision Making in the Manufacturing Environment: using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods*, Springer-Verlag, London, 2007.
3. V. Rao, *Machinability evaluation of work materials using a combined multiple attribute decision making method*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 28, No. (3–4), pp. 221–227, 2006.
4. D. Petković, M. Madić, G. Radenković, *Selection of the Most Suitable Non-Conventional Machining Processes for Ceramics Machining by Using MCDMs*, Science of Sintering, Vol. 47, pp. 229-235, 2015
5. S. Chakraborty, E.K. Zavadskas, *Applications of WASPAS Method in Manufacturing Decision Making*, Informatica, Vol. 25, No. 1, pp. 1–20, 2014
6. M. Čupić M., R. Tummala, M. Suknović, *Odlučivanje - formalni pristup*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2001
7. Petković, *Selection of biomaterials - Multi-criteria decision analysis and development of decision support system*, PhD dissertation, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, 2017
8. A. Jahan, M. Bahraminasab, K.L. Edwards, *A target-based normalization technique for materials selection*, Materials and Design, Vol. 35, pp. 647-654, 2012
9. A. Jahan, F. Mustapha, M.Y. Ismail, S.M. Sapuan, M. Bahraminasab, *A comprehensive VIKOR method for material selection*, Materials and Design, Vol. 32, pp. 1215-1221, 2011

10. D. Petković, M. Madić, G. Radenković, *Ranking of Biomedical Materials by Using Comprehensive WASPAS Method*, Proceedings *Mechanical Engineering in XXI century*, Niš, pp. 339-344, 2015

11. D. Petković, M. Madić, M. Radovanović, V. Gečevska, *Application of the performance selection index method for solving machining MCDM problems*, Facta universitatis, Series: Mechanical Engineering, Vol. 15, No 1, pp. 97 – 106, 2017

12. R.V. Rao, B.K. Patel, *Decision making in the manufacturing environment using an improved PROMETHEE method*, International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 16, pp. 4665–4682, 2010

Keywords: machining, decision support system, cutting fluid, selection, MCDM

THERMODYNAMIC SIMULATION PATTERN OF TITANIUM ALLOY CUTTING PROCESS

Stupnytskyy V., DSc., Professor, She Xianning (China), Stupnytska N., PhD, Associate Professor
Lviv Polytechnic National University

In recent years, more and more scientists have paid great attention to optimising technological processes by modeling the rheological systems of cutting [1,4,5]. Therefore, virtual design technologies have developed considerably, making it possible to perform optimization using a model experiment as verified in a short time and at a low cost. The totality of methods and tools that will enable the design and optimization of production processes is called virtual production. Nowadays, virtual production represents an essential part of the production process, making it possible to obtain a part with optimal dimensions, properties and cost already at the stage of technological planning. Virtual cutting simulation is implemented most frequently today [5].

Theoretical investigation of metal forming and cutting and other processes that are accompanied by significant deformation and fracture of materials is today in many cases possible only by using numerical methods, in particular the finite element method (FEA). In systems such as QForm, the fracture design is relatively unavailable. Most functional process design systems, such as DEFORM differ significantly from universal systems in their fracture simulation capabilities. Many fracture criteria have been implemented for them, such as the normalized Cockcroft-Latham criterion [2].

One of the most critical factors determining the tensely-deformed state in the forming zone of part surfaces and chip forming is the thermal phenomena that arise from cutting work. The thermogenesis hypothesis explains the phenomena connected with the power parameters of the cutting process, firmness of the tool and quality of the machining surface. With the aim of technological operation effective structure and parameters construction, it is necessary to model the thermophysical rheological picture of cutting. On this basis, we can decide how the dynamic indexes of temperature

deformations influence the machined surface quality and investigate the influence of thermodynamics indexes on the tensely-deformed state of machining parts and tools.

Total heat Q_{Σ} in the cutting process appears as a result [3]:

- 1) internal friction between parts of the machined metal in the deformation process - Q_1 ;
- 2) external friction between the chip and rake face of tool - Q_2 ;
- 3) external friction between the cutting surface and machined surface at the back surface of tool - Q_3 ;
- 4) detachment, deformation of chip and its dispersing - Q_4 .

Residual deformation is always preceded to plastic deformation at metal cutting (Fig.1 (b)). The amount of heat distinguished as a result of plastic deformation is insignificant. But ignoring the influence of this factor is impossible. The later influence of this index will be described on forming of heating fields at cutting.

On the other side, heat that appears in the cutting process, not accumulated in the places of his generation, and gradient spreads from zones with a higher temperature to the zones with more low temperature. Thus, in obedience to the laws of thermodynamics, the intensity of such stream ($\frac{\partial T}{\partial x}$) the higher, than more significant temperature difference or less distance is between the outlined thermal affected zones. From the cutting, zone heat is taken with chip (q_1), passed in a machining part (q_2) and tool (q_3) and spreads in an environment (q_4) (Fig.1). The equation can describe the thermal balance of the cutting process:

$$Q_{\Sigma} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \cdot$$

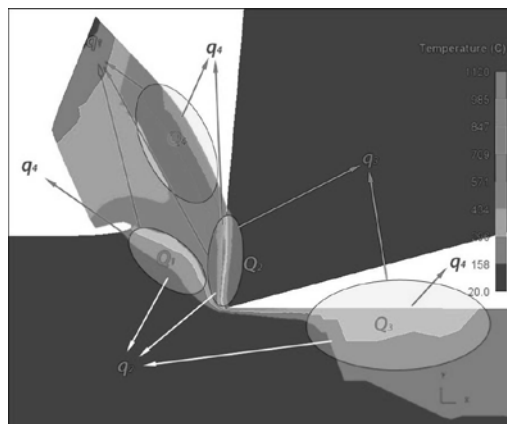


Fig.1. Layout chart of heat sources in the cutting zone during titanium alloy machining

For example, most of heat - Q_1 , which appears as a result of deformation, remains in the chip (q_1) and is partly taken in by the workpiece - q_2 . The heat from chip friction - Q_2 remains mainly in the chip (q_1) and partly (3-5%) directed in a tool (q_3). The heat from friction on the back edge of tool - Q_3 is directed in a workpiece (q_2) and tool (q_3). If metals with a low heat-conducting will be machining, for example, heatproof and titanic alloys, in a tool taken to 20-40% of all heat [6]. The heat of the chip dispersing - Q_4 practically is entirely taken by the chip (q_1) or removed in a technological environment (q_4) - lubricating-cool liquid or in an atmosphere. Losses

of heat from convection and radiation in the cutting process are minimal. A small amount of heat goes to the part, as the chip is very quickly formed in the cutting zone and quickly passes the zone of contact with a tool. However, heat is taken in by part from heatproof titanium alloys sharply grow and can attain 35-45% of all cutting heat [3,5]. Ignoring the work of friction on the back surface of the tool (what takes place at a sharp enough cutting edge and sizeable relief angle), it is possible to consider that repressing the amount of heat must be concentrated in the chip. Rheological experiments that determined the amount of heat in the chip [5] showed that depending on cutting speed, cutting depth and feed for titanium alloy, 60-80% of all heat in chip cutting. In high-speed cutting of the titanium alloy, over 90% of heat is passed to the chip [5].

Conclusions

1. The tensely-deformed material state in the cutting zone is modelled for structure and parametrical technological process of machining.

2. The distribution of heat is studied in the zone of the titanium alloy chip forming. It is confirmed that most of heat is distinguished in a chip. Percent correlation of temperatures is described in the cutting zone.

References:

1. J. Paulo Davim. Machining of Hard Materials- Springer, London.- 2011.- 225 p.
2. Pilarczyk J.W., Markowski J., Golis B., Malecki T.: Influence of some parameters of drawing carbon steel wires on strain intensities, hydrostatic stress and temperature distributions in the approach zone of a conical die. Conference Proceedings WAI 2004 International Technical Conference, Queretaro, Mexico, 2004.
3. Dolyniak Yaroslav, Stupnytsky Vadym. Rheological modeling and analysis of the influence of technological factors on the 2nd kind's residual stresses formation/ Austrian Journal of Technical and Natural Sciences.- «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH.- №9-10.- 2015.- P.31-34.
4. Stupnytsky Vadym. Thermal factors influence on the rheological state of machining part in chip forming zone // Acta Universitatis Pontica Euxinus, Varna, Bulgaria (Proceeding of IX International Conference "Strategy of quality in industry and education").- Vol.1.- 2013 – P.136-139.
5. Stupnytsky V., Hrytsay I. Computer-Aided Conception for Planning and Researching of the Functional-Oriented Manufacturing Process. In: Advanced Manufacturing Processes. InterPartner-2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020, pp. 309-320.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WIND POWER PLANT WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION

Tomczewski L. PhD, Eng.; Kaździolka D., Eng.; Mazur M., Eng.

Technical Institute, In Grodek State Vocational Academy, Sanok, Poland

Renewable energy sources are becoming more and more popular. This is mainly related to the growing trend of taking care of the environment. When installing a windmill or photovoltaic panels, a one-time expense is incurred, which quickly pays off, resulting in savings in the household budget and reduces the emission of carbon dioxide to the atmosphere [3]. One type of renewable energy is wind energy.

Wind farms can be divided into:

- due to the axis of rotation,
- due to the rated power.

In the first method, we distinguish 2 main types of wind turbines. These are wind farms with a horizontal axis of rotation, otherwise known as HAWT (Horizontal Axis Wind Turbines). The second type is a chimney-like wind turbine, i.e. with a vertical axis of rotation (the turbine blades are positioned vertically). This type is also called VAWT (Vertical Axis Wind turbines). They are less popular than horizontal turbines, but also often used [1,2].

The vertical axis power plant consists of a turbine with three vertical blades and a power generator located under the blades of the turbine. The wind, driving the blades, makes them rotate, where a generator is driven by a shaft. When set in rotation, a generator produces electricity. In this way, the conversion of kinematic energy (blade rotation) into electrical energy (generator operation) is achieved. A model of such a power plant is presented in Fig. 1.



Fig.1. Assembly model of a power plant with a vertical axis of rotation

A turbine with the following dimensions was designed:

- height: 1.7 m,
- diameter: 1 m,
- weight: 55 kg.

The generator used in the power plant is a single-phase, slow-speed synchronous generator. A generator without a stator core with a rated speed of $n = 150$ rpm, which corresponds to the induction of a voltage with a frequency of 50 Hz.

Generator parameters:

- nominal revolutions: 150 rev / min, maximum revolutions: 500 rev / min,
- voltage for nominal speed: 56V,
- maximum current: 5.5A,
- nominal power: 280VA.

The generator consists of a rotating part: Rotor, i.e. steel discs $\text{Ø}300$ mm, on which permanent (neodymium) magnets are placed, and a fixed part: Stator, i.e. 10 coils filled with resin. The constructed wind farm is shown in Fig. 2.



Fig.2. Power station with a vertical axis of rotation

The characteristics of the capabilities of the VAWT plant with the given dimensions are: 400W power at 150 RPM and rated voltage of 12V. The production of energy starts with a wind of 3m / s, the maximum wind for the turbine is 42m / s.

References:

1. Pawlik M., Strzelczyk F., 2012, *Elektrownie*, Warszawa, PWN.
2. Wolańczyk F., 2013, *Elektrownie wiatrowe*, Krosno, KaBe.
3. <https://www.ure.gov.pl/pl/sekcja/456,Odnawialne-Zrodla-Energii.html> (Urząd Regulacji Energetyki, for day 22.01.2021)

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF PERFORATED PLATE CONVECTIVE HEAT TRANSFER

Mladen Tomić¹, Predrag Živković², Jelena Janevski², Mića Vukić²,
Aleksandar Anđelković¹, Miroslav Kljajić¹, Jovan Škundrić³

¹University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Serbia

²University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia

³University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Republic of Srpska,
Bosnia and Herzegovina

Abstract

The need for compact heat exchangers has led to the development of many types of surfaces that enhance the rate of heat transfer, among them and perforated plate heat exchangers. The perforated plate heat exchangers consist of a series of perforated plates, that are separated by a series of spacers. The present study investigates the overall heat transfer characteristics of flow through a perforated. The fluid flow rates, the temperatures of the fluids at the inlet and outlet of the chamber, and the temperature of the air between the plates were measured at the predefined locations on a single porous plate, with a porosity of 25.6%. For the determination of the overall heat transfer in the function of geometric parameters, additional numerical experiments were performed. Three parameters were varied in the study: plate porosity, hole-based Reynolds number, and the working fluid. The results of the average Nusselt number prediction were compared with the related experimental correlations. The experimental results agreed qualitatively with the results obtained using a CFD.

Keywords: Heat transfer, Perforated plate, Porosity

References:

1. Dilevskaya, A (1978) Micro Cryogenic Heat Exchangers (in Russian). Mashinostrenie, Moscow
2. McMahan HO, Bowen RJ, Bleye GA Jr (1950) A perforated plate heat exchanger. Trans ASME 72:623-632
3. Krishnakumar K, Venkataratham G (2003) Transient testing of perforated plate matrix heat exchangers. Cryogenics 43:101-109
4. Bannon JM, Piersall CH Jr., Pucci P F (1965) Heat transfer and flow friction characteristics of perforated nickel plate-fin type heat transfer surfaces. Technical report no. 52, United States naval Postgraduate School, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/467052.pdf>
5. Venkataratham G, Sarangi S (1990) Matrix heat exchangers and their application in cryogenic system Cryogenics 30:907-918
6. Ragab MM (2009) Transport phenomena in fluid dynamics: Matrix heat exchangers and their applications in energy systems, Report No. Afrl-rx-ty-tr-2010-0053, Air force research laboratory materials and manufacturing directorate, Tyndall air force base: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a524751.pdf>
7. Kakac S, Bergles AE, Mayinger F (1981) Heat Exchangers, Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, Hemisphere Publishing Corporation,.

8. Bergles AE (1998) Technique to augment heat transfer. In Handbook of heat transfer Applications, (Edited by Werren M. Rohsenow, James P. Hartnett, and Ejup N. Ganic), Ch. 3, Second Edition, McGraw-Hill Book company, NY
9. Al-Essa AH, Al-Hussien FMS (2004) The effect of orientation of square perforations on the heat transfer enhancement from a fin subjected to natural convection, *Heat Mass Trans* 40:509-515
10. Mullisen R, Loehrke R (1986) A study of flow mechanisms responsible for heat transfer enhancement in interrupted-plate heat exchangers, *J Heat Trans (Transactions of the ASME)* 108:377-385
11. Kutscher CF (1994) Heat exchange effectiveness and pressure drop for air flow through perforated plates with and without crosswind. *J Heat Trans* 116:391-399
12. White MJ, Nellis GF, Kelin SA, Zhu W, Gianchandani Y (2011) An Experimentally Validated Numerical Modeling Technique for Perforated Plate Heat Exchangers, *J Heat Transf* 132:1-9
13. Al-Essa AH (2012) Augmentation of heat transfer of a fin by rectangular perforations with aspect ratio of three. *Int J Mech Appl* 2:7-11
14. Al-Essa AH, Fayez MS. Al-Hussien (2004) The effect of orientation of square perforations on the heat transfer enhancement from a fin subjected to natural convection. *Heat Mass Trans* 40:509-515
15. Swee-Boon C, Ji-Jinn F, Yin-Ling L, Terry Kin-Keong Yong (2013) Forced convective heat transfer enhancement with perforated pin fins, *Heat Mass Trans*, doi 10.1007/s00231-013-1186-z
16. Schmidt E, Groeber H, Neumann K (1971) *Heat Science* (in Serbian), Mechanical Faculty Belgrade, Yugoslavia
17. Linghui G, Tingwei G, Jichuan H, Tingying Z (1996) The Effect of the geometric parameters of a perforated plate on its heat transfer characteristics. *Cryogenics* 36: 443-446
18. Sparrow EM, Ortiz MC (1982) Heat transfer coefficients for the upstream face of a perforated plate positioned normal to an oncoming flow. *Int J Heat Mass Transf* 25:127-135
19. Dorignac E, Vullierme JJ, Broussely M, Foulon C, Mokeddem M (2005) Experimental heat transfer on the windward surface of a perforated flat plate. *Int J Therm Sci* 44:885-893
20. Sparrow EM, O'Brien JE (1980) Heat transfer coefficients on the down stream face of an abrupt enlargement or inlet constriction in a pipe. *J Heat Transf* 2:408-414
21. Brunger AP, Hollands KGT, Van Decker GWE (2001) Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch. *Solar Energy*. 71:33-45
22. Rodriguez JI, Mills AF (1996) Heat transfer and flow friction characteristics of perforated-plate heat exchangers. experimental heat transfer. *J Therm Energy Generation Transp Storage and Convers.* 9:335-356
23. Andrew MH, Shaaban AH, Jamil AK, Ian GS (2005) CFD Heat Transfer Investigation into the convective Coefficient of a Perforated Plate. *Proceeding of HT2005, ASME Summer Heat Transfer Conference*, p. 883-894

24. Kutscher CF (1992) An investigation of heat transfer for air flow through low porosity perforated plates. Dissertation, University of Colorado at Boulder
25. Orlov VK, Shevyakova SA, Valeev GW (1978) Heat exchange and hydraulic resistance in perforated-plate heat exchangers. Chemical and petroleum engineering. 14: 701 – 704
26. Mikulin EI, Shevich YA, Potapov VN, Sointsev MV, Yusova GM (1980) Study of Matrix–Type Heat Exchangers Made of Perforated Plates. Chemical and petroleum engineering. 16:514 – 519
27. M. Tomić (2015) Experimental and Numerical research of Thermal and Flow Process in the Package of Perforated Plates (in Serbian) Ph. D. thesis, University of Niš, Niš, Serbia
28. Versteeg HK, Malalasekera W (2007) An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. 2nd Edition, Pearson Education Limited, Harlow, England

PROSPECTS OF USING THE FLEXSIM SYSTEM FOR SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

Vriukalo V.V., *PhD., Associate Professor, Kykavets V.M., student*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

The current stage of development of world engineering is characterized by the widespread introduction of flexible automated production using numerically controlled machines, industrial robots and information technology. These characteristic features of the third industrial revolution can be found in the advanced enterprises of our country, despite the great problems in the machine-building industry of Ukraine. Among these enterprises are both long-established plants that modernize production to ensure competitiveness, and newly established companies. And the most developed countries are already beginning to create productions based on the concepts of cyberphysical systems, designed to change the very method of production - Industry 4.0. These are systems that allow the use of Internet technologies in production and produce higher quality products in small batches [1-3].

According to statistics [4] over the past few years, the development of mechanical engineering in Ukraine is gaining momentum. But, despite such a positive dynamics of growth of domestic engineering, there are still many unsolved problems. In the light of modernization of mechanical engineering of Ukraine and integration of the industry into the world system of mechanical engineering, one of the tasks is the introduction of modern methods of design and analysis of technological processes. For the efficient use of enterprise resources in order to produce more products at lower cost, effective planning and organization of production, it is important to be able to process large amounts of information in real time. Involvement of information technologies, process modeling makes it possible to take into account the relationships between the objects

of the production process, its functional and structural factors, to carry out quality control at all stages of production.

Extensive and effective implementation of information technology in modern production is facilitated by a large number of software products for product design and technological preparation for their manufacture (various CAD / CAM systems), programs for automation of production processes and control of technological equipment. FlexSim software package is one of the few software products that allow you to find optimal technological solutions. The package allows you to model and improve existing systems and design new ones [5]. FlexSim contains powerful discrete event simulation procedures and realistic 3-D graphics that allow you to create a dynamic software model of a physical system that exchanges information using Internet technologies. Importantly, the package contains a powerful array of statistical distributions that allow you to take into account the properties of real-world objects and processes in their modeling and analysis. The library of standard objects contains a set of tools (fixed resources, task performers, conveyors, warehousing, industrial vision systems, etc.) that have powerful functionality and a wide range of properties that can be customized according to the needs of the simulated task (Fig. 1). In addition, it is possible to create your own objects when you need to model the properties and behavior of objects of a specific non-standard class. Individual objects, triggers, and properties of the simulated system are easily customized using ready-made lists and sets of options. You can use the powerful tool ProcessFlow to build the logic of the simulated system in the form of a process diagram.

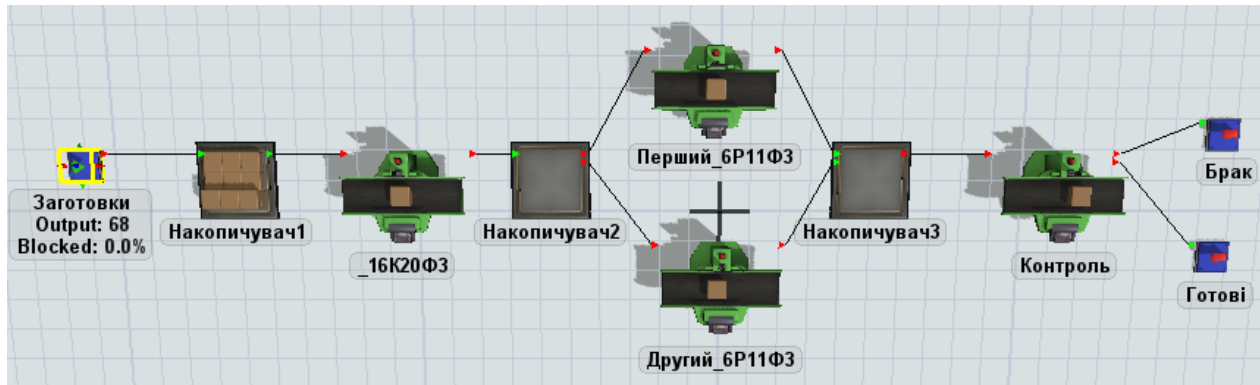


Fig.1. Example of a model of the technological process of machining

The use of FlexSim system to create powerful simulation models of technological processes and productions in general provides ample opportunities to implement modern technological trends in machine building, will improve the quality and efficiency of design of productions and machine building processes at the level of modern requirements.

References:

1. National Institute of Standards and Technology (2017), “Technology Innovation Program National Institute of Standards and Technology” available at: <http://www.nist.gov>

2. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/materials/Pages/Промышленность/К.%20Шваб_Четвертая%20промышленная%20революция_2016.pdf

3. Тарасов И. В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития. Стратегии бизнеса. 2018. № (5).

4. Латишева О.В. Основні тенденції розвитку, перспективи та можливості забезпечення сталого розвитку машинобудівних підприємств в Україні. Економічний вісник Донбасу № 1(47), 2017, с.82-88.

5. Mustafa Fatih Yegul, Fatih Safa Erenay, Soeren Striepea, & Mustafa Yavuza (2017). Improving configuration of complex production lines via simulation-based optimization. Computers & Industrial Engineering 4(109), 295–312.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.019>

EFFECT OF GEOMETRY OF TUNGSTEN CARBIDE BIT TOOTH ON THE EFFICIENCY OF ROCK DESTRUCTION

Vriukalo V.V., PhD., Associate Professor, Zanyk V.V., student
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

One of the most advanced types of tools for drilling wells in medium-hard rocks are bits armed with carbide teeth and PDC bits [1, 2].

A characteristic feature of the teeth used in these bits is that their working surface, which is in direct contact with the rock, is flat (Fig. 1).

The process of destruction of rock by PDC bit (Fig. 2) is carried out by cutting or chipping. Under the action of the axial force F , the teeth of the bit are pressed against the well bottom, and the rock is cut by the action of the tangential force T , rotating around the axis of the bit. Due to the fragility of the rock, this process may be accompanied by chipping of its particles.

Given the flat working surface of the tooth and the scheme of its fixation in the body of the bit, we see that the cutting process takes place with a negative value of the front angle. This requires high cutting forces (T) and, consequently, high energy consumption during the destruction of the rock.



Fig.1. Teets of PDC bits

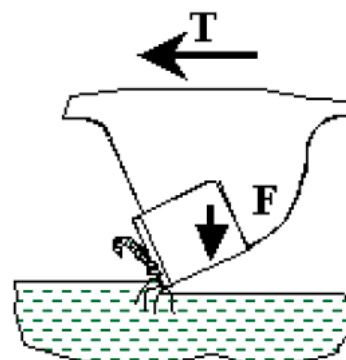


Fig.2. The scheme of destruction of the rock with tooth of PDC bit

We proposed to ensure the process of cutting the rock with a positive front angle by changing the geometry of the working surface of the tooth. This can be achieved by making the working surface of the tooth in the form of a concave surface, conjugated by rounding with the lateral surface of the tooth.

To test the effectiveness of the proposed shape of the working surface of the tooth, numerical modeling of the process of cutting rock with teeth with a traditional flat working surface and concave hemispherical working surface was performed. The simulation was performed using the finite element method in the ANSYS software environment (student license).

The dynamic problem of interaction of rock-destroying tungsten carbide teeth with a diameter of 10 mm with a rock step 2 mm high was modeled. Figures 3 and 4 show the positions of the teeth at the same time points from the beginning of cutting. As you can see, the tooth with a traditional flat working surface (Fig. 3) has moved a shorter distance than the tooth with a hemispherical concave working surface (Fig. 4). The difference is about 10%. The zone of destruction of the rock is also significantly larger for the proposed geometry of the working surface of the tooth.

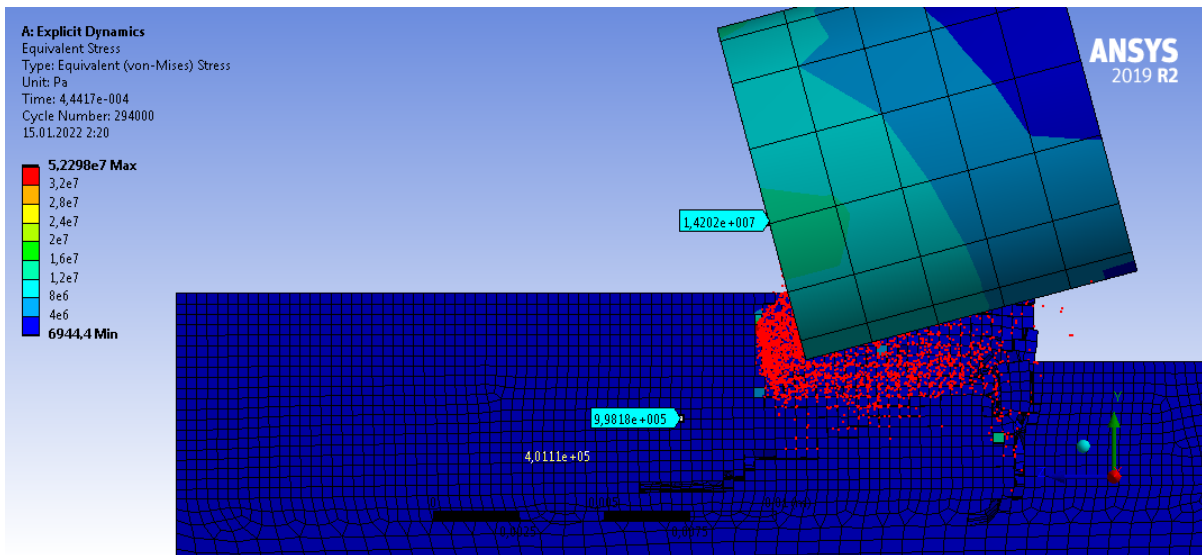


Fig.3. Destruction of rock by a tooth with a flat working surface

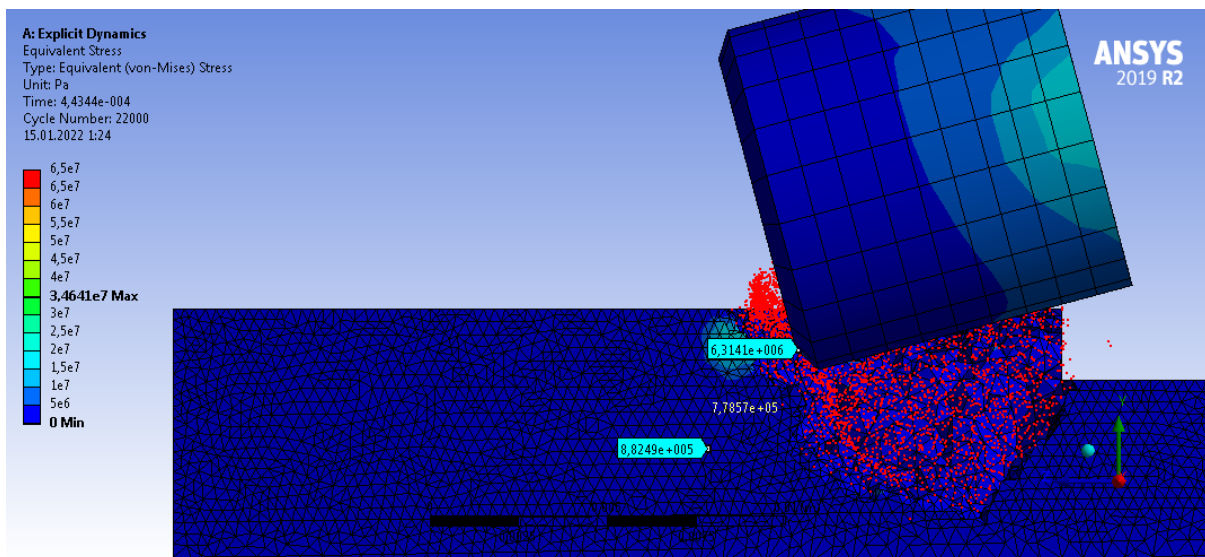


Fig.4. Destruction of rock by a tooth with a hemispherical concave working surface

Conclusion

The obtained results show the efficiency of using the proposed shape of the working surface of the tooth PDC-bit in the form of a concave surface to intensify the drilling process.

References:

1. Білецький В.С. Основи нафтогазової справи / В.С. Білецький, В.М. Орловський, В. І. Дмитренко, А. М. Похилко. – Полтава: ПолтНТУ, Київ: ФОП Халіков Р.Х., 2017. – 312 с.
2. Разрушение горных пород при бурении скважин алмазным буровым инструментом. Вячеслав Нескоромных, Марина Попова, Баочанг Лиу. Монография, СФУ, Красноярск, 2020. – 267 с.

CAD ANALYSIS AND INJECTION MOLDING IN ASPECTS OF TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT ON THE EXAMPLE OF A DESKTOP FAN PROPELLER

*Ziobro J., Doctor of Technical Sciences, Technical Institute
The Jan Grodek State University in Sanok, Poland*

The economical production process requires the use of modern methods of technical preparation and production. This activity also corresponds to the continuous improvement of the staff dealing with this complex issue. It is required to be able to react to constant changes and improvements without stopping the production process. In this article, the aspect of molding products manufacturing was highlighted on the example of a desktop fan propeller.

Injection molding is a cyclical process of processing materials with a polymeric and elastomeric structure. Molded products are characterized by such main features as:

- Established repeatability and quality,
- Low unit cost,
- Optimized product shape,
- Minimization of material consumption,
- Low material cost,
- High accuracy of the injection mold,
- High price of the processing tool,
- The possibility of using regranulate,
- Minimization of post-production waste,
- The possibility of using biodegradable materials,
- Intended for serial and mass production, etc.

Due to a number of complex problems and phenomena in this process, fruitful cooperation is necessary; constructors, technologists, programmers of CNC machines and other people responsible for the success of the manufacturing process.

In this paper, the existing design solutions for office windmills are analyzed. Particular attention was paid to the problem of the technological nature of their construction. In the course of the discussion, a geometrical solution for the 3D model of the windmill was proposed. It meets a number of criteria. Among the most important are the significant minimization of material consumption. This was done by removing the metal insert. The geometry of the surface lobes was also modified. This allowed for the reduction of the required power for rotation and the moment of inertia. Thus, the functionality of the desktop fan propeller has been significantly improved. The number of active elements has been reduced. To obtain the required stiffness of the hub, reinforcing ribs were introduced. All these activities allowed to minimize the effect of air turbulence. Thus, the vibrations of the wings and the accompanying noise decreased.

After completing the design stage, this model was made at a scale of 1: 1 in the Autodesk Inventor environment. Then, the setting conditions were prepared in the Z-Suite program and printed on a 3D printer. The analysis of the product showed that there is an anisotropic processing shrinkage. The estimation of the shrinkage value was made using the injection molding analysis. For this purpose, the required boundary conditions and the injection molding process were determined. Then, the discretization of the structure was performed and injection molding analysis was carried out in Autodesk Moldflow Insight. The minimization of the unit price was achieved thanks to the use of a multi-cavity processing tool. For this case, a 6 cavity injection mold with a 3-plate structure with two parting planes was proposed. The process of releasing the molded products was carried out by a mechanical method. A set of ejectors was designed, which was embedded in the movable ejector plate. The introduction of a number of modifications made it possible to significantly reduce the material consumption. A steel insert was also eliminated. The unit cost of the molded product has been significantly reduced. Thanks to these actions, a more competitive product was achieved on the market. The article highlights the activities aimed at achieving the technological advantage effect.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ РЕКРЕАЦІЇ УЧАСНИКІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ

Архипова Л.М., д.т.н., проф.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Важливість відпочинку розуміли ще в давнину. Мудрі китайці говорили: «Хто не вміє відпочивати, той не може й добре працювати» [1]. Особливо це актуально для учасників інженерної освіти – як викладачів, так і студентів. Оскільки найчастіше люди втомлюються не стільки від фізичного навантаження, скільки від розумової роботи, емоційної і духовного праці, відпочинок повинен бути періодичним і дробовим. Для більшості людей

оптимальним режимом є відпочинок 10 хвилин щогодини. Тому коли напружено працювати три години поспіль без перерв, для відновлення сил знадобитися вже година, тобто 60 хвилин. Відпочинок раз на тиждень, взагалі, прописаний у багатьох релігіях [2]. Як мінімум 25 днів рекомендується відпочивати щороку, причому більшість компаній на сьогодні, особливо тих, які працюють в інженерній сфері, зобов'язує своїх працівників брати відпустку одну відпустку тривалістю не менше 14 днів підряд [3].

Рекреація (фр. recreation, пол. rekreacja - відпочинок, від лат. recreatio - відновлення сил) - відновлення чи відтворення фізичних і духовних сил, витрачених людиною в процесі життєдіяльності; рекреація включає різноманітні види діяльності у вільний час, спрямовані на відновлення сил і задоволення широкого кола особистих і соціальних потреб та запитів [4].

Саме туризм у сучасному світі сприймається як головна форма рекреаційної діяльності, перетворившись на потужну самостійну галузь нематеріального виробництва, яка задовольняє рекреаційні потреби [5].

Кафедрою туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в рамках міжнародного проекту «Карпатський культурний шлях» було проведено соціологічне опитування споживачів туристичних послуг Івано-Франківської області. Вибірка, за якою проводилось дослідження, охоплювала осіб, які репрезентують доросле населення (старше 18 років) за статтю, віком, освітою. Така кількість опитаних складає 2,5% кількості туристів (генеральної сукупності), обслужених турагентами і туроператорами і в Івано-Франківській області за 2020 р. (з розрахунку за два місяці згідно даних сайту офіційної статистики) [6].

Серед опитаних громадян більшу частину становлять чоловіки, що актуально в тому числі для учасників інженерної освіти. Із загальної вибірки опитаних четверта частина – це молоді люди у віці від 18 до 29 років (вік студентів, що здобувають інженерну освіту); ще 50% це особи у віці від 30 до 50 років (вік викладачів). Цікавим є те, що абсолютна більшість відпочиваючих у області - це люди у віці від 30 до 39 років. Серед опитаних вищу освіту мають 3/4 респондентів, що підтверджує репрезентативність дослідження та необхідність відновлення фізичних і духовних сил для учасників інженерної освіти. Щодо мети подорожі у Карпатський регіон, то більшість туристів надають перевагу культурно-пізнавальному туризму, найменша кількість опитаних цікавляться спортивним туризмом. Цікавим є відповідь на питання з ким відпочиваєте цього разу. Потрібно зазначити суттєве зростання кількості туристів-одинаків (порівняно з доковідним соціологічним опитуванням в області), яке майже зрівнялось з тими, хто відпочиває з друзями, з родиною та в парі (близько 1/4 кожного типу з загальної вибірки). Суттєві зміни відбулися також у джерелах туристичної інформації. Інтернет – джерела прийшли на зміну так званому «сарафанному радію». Як основне джерело їх зазначають більше половини опитаних. Більша частина опитаних готова витратити за добу 700-1200 грн.

Серед проблем, з якими зіткнулися туристи під час відпочинку в Івано-Франківській області (в порядку спадання): незадовільний стан доріг,

обмежений асортимент послуг на об'єкті, відсутність культурно-розважальних закладів; невідповідність ціни та якості послуг, недоброчинний обслуговуючий персонал та небезпека деяких історичних об'єктів (руїн).

Під час соціологічного дослідження респонденти висловили ряд побажань щодо покращення відвідуваності території Івано-Франківської області. Зокрема, це (в порядку зниження значущості з точки зору відпочиваючого): покращення інфраструктури, благоустрій території, реставрація культурно-історичних об'єктів, інформаційне забезпечення, громадські вбиральні, культурно-розважальні заходи.

Тож отримані інтерпретовані дані соціологічного опитування дозволяють зробити висновок про необхідність введення дисципліни «Рекреація, дозвілля, відпочинок – базові основи туризмознавства» для учасників інженерної освіти для забезпечення м'яких навичок – так званих *soft skills*. Рекомендовано викладацькому складу 1 кредит підвищення кваліфікації відвести для отримання базових навичок самостійної організації подорожі для відпочинку, можливостей бронювання закладів розміщення, закладів харчування, квитків на транспорт, страхування та туристичних формальностей у подорожах за кордон. Обізнаність в цих питаннях дозволить більш якісно задовольнити рекреаційні потреби учасників інженерної освіти та, як наслідок, отримати вищі результати основної діяльності.

Література:

1. Архипова Л. М. До питання сталого розвитку територіальних рекреаційних систем / Л. М. Архипова. Карпатський край. Наукові студії з історії, культури, туризму. №2(5)/2014. - ДВНЗ «Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаника», Івано-Франківськ, 2014. – С.147-158

2. Архипова Л. М. Стратегія сталого розвитку туризму Карпатського регіону/ Л. М. Архипова. «Економіка. Управління. Інновації. Серія: економічні науки. Випуск №2(12), 2014. - Електронне фахове видання. http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe.

3. Bezruchko LS Methods for assessing tourist historical and cultural resources (on the example of Turkiv district of Lviv region): Educational manual / Ed. prof. R.Ya. Veresta / - Lviv, 2013. - 160 p.

4. Семирга Л.І., Архипова Л.М. Роль вільного часу людини у відновленні трудового потенціалу на прикладі зарубіжного досвіду/ Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку індустрії туризму та гостинності у конкурентному середовищі» (м. Харків 17 квітня 2020 р.). Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2020. Стр.128-130.

5. Tsaryk P. Estimation of historical and cultural recreational resources of Podillya / P. Tsaryk // Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Geography. - 2018. - № 2. - P. 124-129. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2018_2_16.

6. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. <https://ifstat.gov.ua/>.

НАПРУЖЕННЯ В ІНСТРУМЕНТІ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Іван Бельмас, Олена Білоус, Ганна Танцура, Тимофій Танцура
Дніпровський державний технічний університет

Шліфування - особлива технологія в металообробці. При металообробці зерна інструмента періодично входять в контакт з деталлю. Робочі кромки абразивних зерен зношуються. Руйнуються самі зерна та матеріал що їх утримує в інструменті. Періодичне навантаження зерен зумовлює термін його роботи до руйнування. Руйнування зерен поверхневого шару забезпечує появу на ній нових різальних кромок. Вони замінюють зношені. Забезпечення оптимальних умов зносу різальних кромок, руйнування зерен, матеріалу що їх утримує – актуальна науково-технічна проблема. До неї входить задача розрахунку напруженого стану інструменту абразивної обробки матеріалів.

Радіус шліфувального круга значно перевищує габарити зерен. Будемо вважати діаметр шліфувального круга безмежним, а робочу поверхню плоскою. Інструмент - композитний ортотропний. В ньому зерна паралельні стрижні розташовані вздовж осі x . Стрижні квадратного перерізу. Сторона квадрату b . Жорсткість стрижнів на стиск залежить від жорсткості зерен та матеріалу що з'єднує зерна. В перерізах нормальних до осі x (паралельних робочій поверхні) зерна регулярно розташовані в напрямку осей їх номерів $i (1 \leq i \leq M), j (1 \leq j \leq N)$.

Складемо умову рівноваги довільного зерна малої довжини dx .

$$dP_{i,j} + (\tau_{1,i-1,j} - \tau_{1,i,j} + \tau_{2,j-1} - \tau_{2,i,j})b dx = 0. \quad (1)$$

За законом Гука

$$\tau_{1,i,j} = \frac{G}{h}(u_{i,j} - u_{i-1,j}), \quad \tau_{2,i,j} = \frac{G}{h}(u_{i,j} - u_{i,j-1}), \quad P_{i,j} = Eb^2 \frac{du_{i,j}}{dx}, \quad (2)$$

де h, b - відстань між зернами та висота зерен; G - модуль зсуву матеріалу зв'язки; E - зведений модуль пружності матеріалу зерна та матеріалу зв'язки; $u_{i,j}$ - переміщення зерна вздовж осі x .

з (1) та (2) маємо систему однорідних рівнянь порядку $(M-1)(N-1)$.

$$\frac{d^2 u_{i,j}}{dx^2} + \frac{G}{E h b} (u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1} - 4u_{i,j}) = 0. \quad (3)$$

Звернемо увагу на те, що рівняння (3) прийнятні для всіх зерен, а лише в наступних межах.

$$1 < i < M - 1 \wedge 1 < j < N - 1. \quad (4)$$

Рішення системи однорідних рівнянь (3) приймемо у формі

$$u_{i,j} = \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=1}^{M-1} (A_{m,n} e^{\beta_{m,n} x} + B_{m,n} e^{-\beta_{m,n} x}) \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\chi_n (j - 0,5)) + \sum_{m=1}^{M-1} (A_m^M e^{\beta_m^M x} + B_m^M e^{-\beta_m^M x}) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + \sum_{n=1}^{N-1} (A_n^N e^{\beta_n^N x} + B_n^N e^{-\beta_n^N x}) \cos(\chi_n (j - 0,5))$$

$$\text{де } \beta_{m,n} = \sqrt{\frac{2 G}{E h b} (2 - \cos(\mu_m) - \cos(\chi_n))}; \quad \beta_m^M = \sqrt{\frac{2 G}{E h b} (1 - \cos(\mu_m))};$$

$$\beta_n^N = \sqrt{\frac{2 G}{E h b} (1 - \cos(\chi_n))}; \quad \mu_m = \frac{\pi m}{M}; \quad \chi_n = \frac{\pi n}{N}; \quad A_{m,n}, A_m^M, A_n^N, B_{m,n}, B_m^M,$$

B_n^N - вектори невідомих коефіцієнтів.

Звернемо увагу на те, що значення векторів μ_m, χ_n сформульовані з умови прийнятності рівнянь (3) для усіх зерен без винятків. Невідомі коефіцієнти знайдемо для наступного випадку. Навантажене зерно робочій поверхні шліфувального інструменту ($x=0$). Зерно за номером I розташовані в J -тому ряду. Зерна протилежної поверхні ($x=Hc$) закріплені. Вказане сформулюємо в математичній формі.

$$\text{Коли } x=0. \quad p_{i,j} = \begin{cases} 1 & i = I \wedge j = J \\ 0 & i \neq I \wedge j \neq J \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Коли } x=Hc \quad u_{i,j} = 0 \quad u_{i,j} = 0, \quad (7)$$

де H, c – кількість шарів зерен в інструменті та крок їх розташування по його товщині інструменту абразивної обробки матеріалів.

Гранична умова (6) становить собою розривну δ - функцію Дірака на дискретних осях номерів рідів та номерів зерен в рядах на інтервалах M та N . Задамо δ - функцію добутком рядів Фур'є. Прирівняємо добуток рядів Фур'є розподілу сил навантаження зерен в перерізі $x=0$ (6). Врахуємо умову (7) для перерізу $x=Hc$. Знайдемо значення векторів коефіцієнтів.

$$B_{m,n} = -\frac{4e^{\beta_{m,n}Hc} \cos(\chi_n(J-0,5)) \cos(\mu_m(I-0,5))}{i N (e^{\beta_{m,n}Hc} + e^{-\beta_{m,n}Hc}) \beta_{m,n}},$$

$$B_{m,n} = -\frac{4e^{\beta_{m,n}Hc} \cos(\chi_n(J-0,5)) \cos(\mu_m(I-0,5))}{i N (e^{\beta_{m,n}Hc} + e^{-\beta_{m,n}Hc}) \beta_{m,n}},$$

$$B_m^M = -\frac{2e^{\beta_m^M Hc} \cos(\mu_m(I-0,5))}{M (e^{\beta_m^M Hc} + e^{-\beta_m^M Hc}) \beta_m^M}, \quad B_n^N = -\frac{2e^{\beta_n^N Hc} \cos(\chi_n(J-0,5))}{N (e^{\beta_n^N Hc} + e^{-\beta_n^N Hc}) \beta_n^N},$$

$$A_{m,n} = \frac{4 \cos(\chi_n(J-0,5)) \cos(\mu_m(I-0,5))}{i N \beta_{m,n}} + B_{m,n},$$

$$A_m^M = \frac{2 \cos(\mu_m(I-0,5))}{M \beta_m^M} + B_m^M, \quad A_n^N = \frac{2 \cos(\chi_n(J-0,5))}{N \beta_n^N} + B_n^N.$$

Знайдені переміщення зерен дозволяють визначати розподіли сил взаємодії зерен, дотичні напруження в матеріалі зв'язки за вразами (2) – визначати шуканий напружено-деформований стан інструменту абразивної обробки матеріалу довільним зерном. Лінійна постановка задачі дозволяє враховувати сумісний вплив навантажень декількох зерен на інструмент в цілому як суму напружених станів від дії навантажень ряду зерен заданими силами різання.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБАМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ

**Белявський О. В., ст. викладач, Косенко О. В., асистент,
Плужник А. С., студент**

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

Сучасні технологічні процеси механічного виробництва, як і промисловості взагалі, потребують використання комп'ютерних систем керування (СК) автоматичним обладнанням, кількість і якість якого безперервно зростає. Тому водночас зростає доля робот, що пов'язані з розробкою та тестуванням програмного забезпечення систем керування технологічним обладнанням (ТО). Наприклад, процес керування верстатом з ЧПК розпочинається низкою тестів процесорної системи та агрегатів верстата з метою перевірки їх працездатності. Процес тестування відбувається уздовж всього циклу роботи верстата у фоновому режимі. Найвне дослідження призначене питанням розробки засобів та методів моделювання функцій ТО з метою тестування програмного забезпечення системи керування обладнанням.

Апаратною основою функцій та властивостей як СК, так і ТО, що моделюється, виступає мікропроцесорна система, що може бути розгорнута як на базі окремої МП платформи (наприклад STM32, IBM PC, ARDUINO, т.і.) так і на базі власної системи керування роботом (верстатом з ЧПК). В останньому випадку симулятор не дозволяє протестувати всіх властивостей об'єкта керування, зокрема елементів з'єднання, гальванічної розв'язки, електромагнітних завод, т.і. Тобто, для повноти відтворення властивостей ТО треба забезпечити його моделювання на основі окремої МП платформи з окремим живленням та гальванічними розв'язками цифрових та аналогових сигналів. Розглядаються можливості моделювання функцій ТО на базі платформи IBM PC.

Зв'язок роботомеханічного обладнання з СК може бути здійсненим так, як запропоновано в [1] у вигляді набору регістрів пам'яті вхідних сигналів керування та зворотніх відповідей ТО з урахуванням сигналів панелі оператора та змінних стану технологічного процесу. Закони зміни стану технологічного процесу задаються у програмі симуляції ТО заздалегідь у вигляді матриці обмежень руху, яка змінюється після виконання чергової команди.

Для спрощення задачі розглядається модель циклової робото-механічної системи, що може бути описана графом стану, який приведено на рис.1. На графі зазначені допустимі переходи механічної системи робота. Деякі переходи, наприклад р1-р3, або р1-р7, унеможливаються особливістю технологічного процесу, що моделюється.

При наданні заборонених переходів, або інших обмежень дії, наприклад при перевищенні моменту навантаження, симулятор має формувати сигнал аварії та причину відмови виконання команди у вигляді номеру похибки.

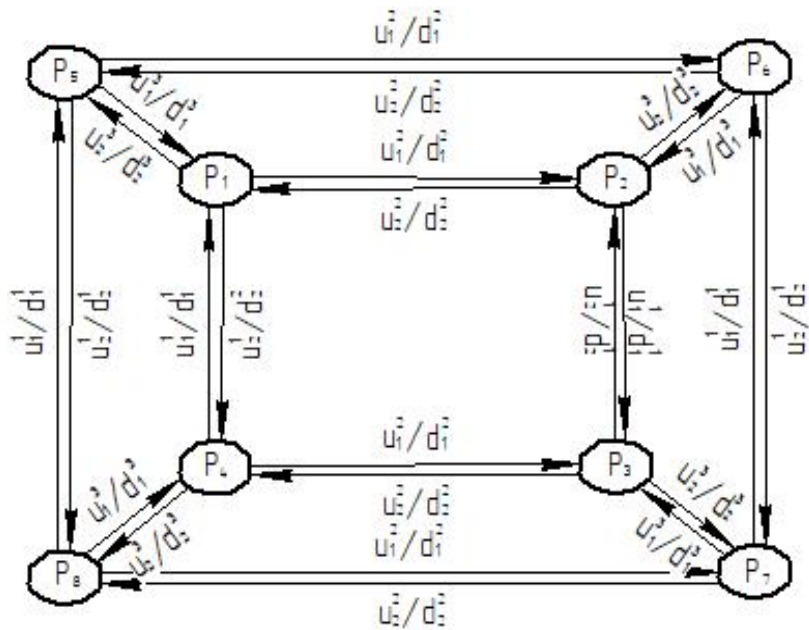


Рис.1. Граф дозволених переходів циклового робота

З цією метою у симулятор введений блок обчислення обмежень руху, що призводять до аварійних ситуацій, який виконаний у вигляді таблиці (матриці) обмежень. Змінна інерційність навантаженої механічної системи, що впливає на її швидкодню на першому етапі моделювання не враховувалась.

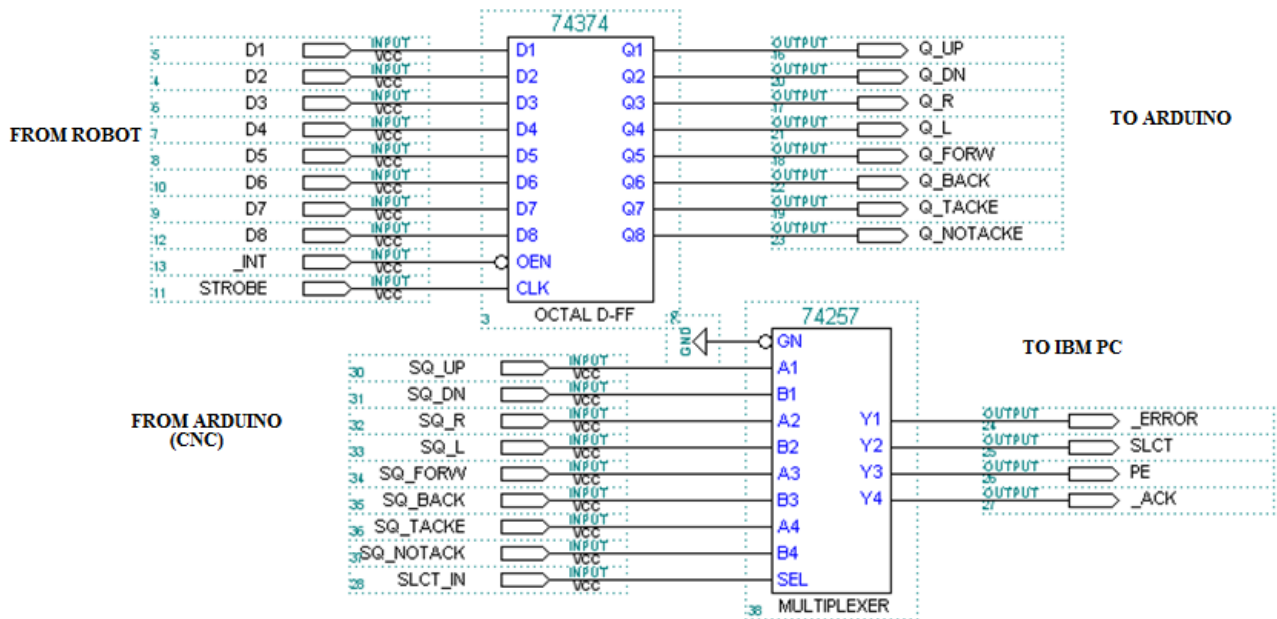


Рис.2. Електрична схема пристрою сполучення системи керування з симулятором ТО на базі ЕОМ ІВМ РС

На рис. 2 приведена схема пристрою сполучень СК з датчиками стану та ефекторами ТО. Роль СК покладена на мікроЕОМ платформи ARDUINO.

Пристрій сполучення створений на базі інтерфейсу «Centronics» [2]. Мультиплексор 74257 реалізує перетворення вісімох ліній у чотири, яке

виконується у дві фази – введення молодшої тетради та введення старшої тетради. Використання мультиплексора дозволило організувати двонаправлений байтовий обмін даними між ТО та СК.

На рис. 3 наданий дисплей стану ТО, яке симулюється на ЕОМ IBM PC.

Створена технічна система дає можливість розробки СК ТО на базі мікроЕОМ без використання реального ТО, що суттєво зменшує витрати та час на розробку СК роботомеханічним обладнанням.

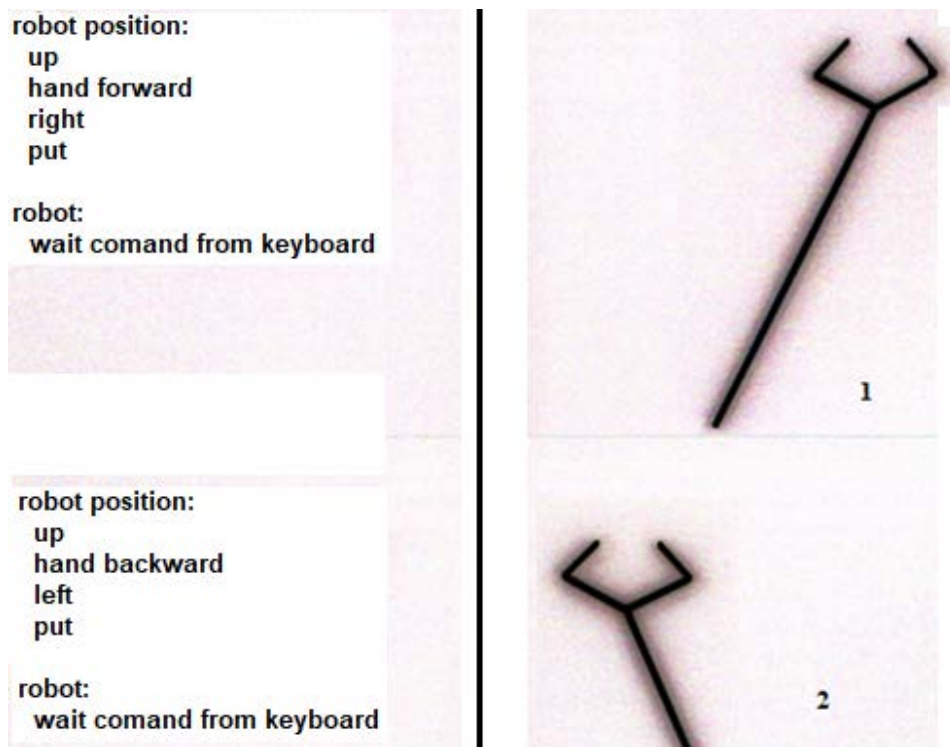


Рис.3. Дисплей стану керованої технічної системи при її керуванні з пульта оператора: 1-команди «forward + right»; команди «back + left»

Література:

1. Новиков Ю. В., Калашников О. А., Гуляев С. Э. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC. – М.: Эком, 2000. – 224 с.
2. Jourdain R. Programmer's problem solver for the IBM PC, XT, & AT. – New York: Brady Communications Co, January 1, 1985. – 473 p.

ВДОСКОНАЛЕННЯ 3D-ДРУКУ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ FDM

¹Michał Bembenek, Doctor of engineering, Professor, ¹Wojciech Gazda, absolwent AGH, ²Михайлюк В.В., к.т.н, ²Рудейченко О.О., студент
¹AGH Науково-технічний університет, алея Міцкевича 30, 30-059 Краків, Польща. e-mail: bembenek@agh.edu.pl
²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Перевагою сучасних технологій проектування та виготовлення виробів є їх швидкість та економічність. Вони дозволяють значно спростити роботу із 3D-моделями, створювати об'єкти унікальних геометричних форм різної складності. Сьогоднішні існують технології швидкого прототипування, серед яких: FDM (Fused Deposition Modeling); SLA (стереолітографія); SLS (Selective laser Sintering); CJP (Color jet Printing) [1-7].

Проте принтери, що використовуються при технології FDM є найпоширенішими і використовуються безліччю компаній для виготовлення виробів різної конфігурації та призначення [8]. Основними проблемами технології FDM є: спотворення надрукованого виробу в результаті усадки матеріалу під час його формування; складність у виготовленні форм обертових елементів, тобто важко отримати форми, які мають округлі стінки (рис. 1) [9].



Рис.1. Куля, надрукована з використанням технології FDM [9]

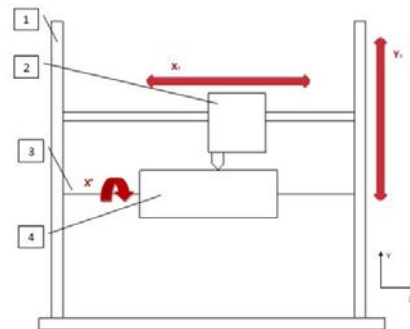


Рис.2. Схема 3D-принтера з обертовою віссю

1 – рама; 2 – екструдер; 3 – вісь; 4 – виріб

Мета роботи полягає у вдосконаленні способу виготовлення виробів типу «вали» та «диски» за допомогою технології 3D-друку та модернізації для цього 3D-принтера Anet A8.

Для вирішення проблеми виготовлення деталей округлої форми був розроблений спосіб, при якому осі X і Y – це напрямки, в яких рухається екструдер, а X' – вісь обертання моделі, на якій згідно з технологією FDM нитка буде наноситися шар за шаром. Модифікована схема показана на рисунку 2.

Таким чином принтер буде використовуватися для друку валів, втулок, осей та інших деталей, що мають округлу форму. Ці компоненти часто є основними деталями багатьох машин практично з усіх галузей промисловості. Додатковою перевагою, яка збільшує використання принтера, є те, що він швидко виготовляє елемент, а також можливість застосування різних матеріалів та їх кольорів.

На рисунку 3 показано модернізовану конструкцію принтера.

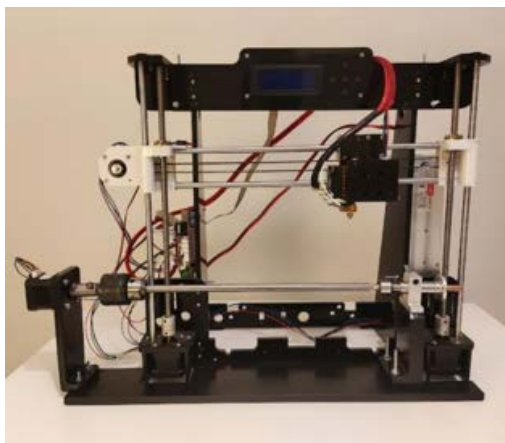


Рис.3. Модернізований 3D-принтер

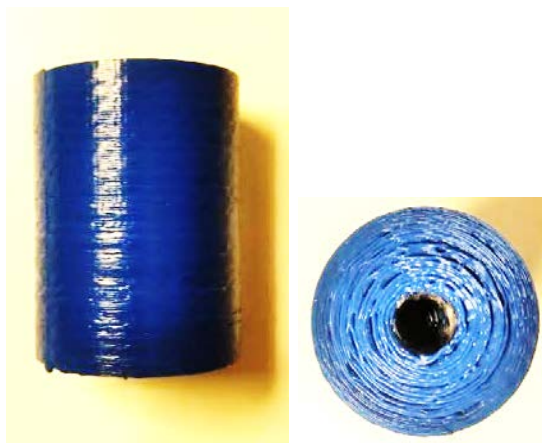


Рис.4. Надрукований валик

У пропонованому рішенні багато факторів впливають на якість друку виробів: швидкість руху елементів кожної з осей, швидкість обертання осі, швидкість подачі нитки та діаметр сопла принтера. У процесі систематизації необхідних робочих параметрів 3D-принтера було виготовлено багато тестових зразків, останній з яких показаний на рисунку 4.

Отже, у процесі виконання роботи було модернізовано конструкцію 3D-принтера, а саме додано вісь обертання, підібрано механізм, що приводить її у дію. Також встановлено параметри, від яких залежить якість друку виробу. Встановлено переваги пропонованої конструкції порівняно із традиційними та відмічено високу якість надрукованих виробів. При роботі над принтером також були помічені його недоліки: за рахунок застосування осі можна друкувати елементів тільки з певним діапазоном діаметрів; відсутність безперервної подачі матеріалу може бути причиною виникнення дефектів виробу; необхідність створення конструкції каркаса принтера високої жорсткості (в іншому випадку виникає вібрація). Проте, зважаючи на явні недоліки пропонованого рішення, вони відкривають новий простір для модернізації пропонованого способу друку та конструкції 3D-принтера.

Література:

1. Chojnacki B., Pawlik J., Kamisiński T. (2021). Influence of different materials used for 3D printing in miniature speaker enclosure development. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. 263. 5631-5636. 10.3397/IN-2021-3188.

2. Pawlik J., Dzienniak D. (2021). Method of smoothing the surface of additively manufactured polylactide by thermal treatment in sodium chloride. MATEC Web of Conferences. 338. 01022. 10.1051/matecconf/202133801022.

3. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (I частина) / Г. О. Андрощук // Наука, технології, інновації. - 2017. - № 1. - С. 68-77.

4. Borysiewicz A., Gonera P., Łęgowik D., Dembiczak T., Gospodarek K. (2018) Wykorzystanie metody przyrostowej w prototypowaniu, Wydawnictwo im. Stanisława Podobińskiego Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie.
5. Finnes T. (2015) High Definition 3D Printing – Comparing SLA and FDM Printing Technologies, South Dakota State University. The Journal of Undergraduate Research, 13, 10-26.
6. Caban J. Szala, M., Kęsik, J., Czuba, Ł (2017). Wykorzystanie druku 3D w zastosowaniach automotive. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe R. 18, nr 6, 573–579.
7. Ryabikina, M. (2019). 3D metal printing: a brief SWOT analysis. Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences. 45-52. 10.31498/2225-6733.38.2019.181282.
8. Oleksyshen, V. (2020). Аналіз конструктивних особливостей та ефективності застосування сучасних FDM принтерів для просторового друку полімерними термопластичними матеріалами. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 1(3), 25–34, <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.03.04>
9. Walasek M. Druk 3D kul: Jak to zrobić., <http://3d.edu.pl/druk-3d-kul-jak-to-zrobic/> (станом на день 2021.12.15).
10. A8 3D Printer Installation Guide. <http://anet3d.pl/wp-content/uploads/2018/02/A8-3D-Printer-Installation-Instructions1.1.pdf> (станом на день 2021.12.20).
11. URL: <https://katalog.grupatopex.com/en/akcesoria-do-elektronarzedzi/drill-chucks> (станом на день 2021.12.20)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАДНЬОЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ЗАСОБАМИ SOLID WORKS

Л. О. Борушак, к.т.н., доцент, Р. В. Маркуш, студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Відомо, що підвіска автомобілів, як пасажирських, так і вантажних, містить пружні елементи – спіральні пружини або ж листові ресори. Ці елементи у поєднанні з амортизаторами забезпечують стабільність і плавність руху автомобіля по дорожньому покриттю, яке має значні нерівності, вибоїни тощо. Найбільш небезпечними для руху автомобіля в умовах атмосферних опадів (дощу, снігу) або ожеледиці є системна хвилястість дорожнього покриття, так звана „гармошка”. Під час руху в таких умовах автомобілі часто втрачають керування, що призводить до аварій. Знижує стійкість автомобіля під час їзди також помітний дисбаланс коліс, який виникає внаслідок їхньої деформації чи механічних пошкоджень. В результаті виникають вібрації підвіски, частота яких визначається

частотою обертання колеса (швидкістю руху) або ж параметрами хвилястості полотна (гармошки). Автомобіль в таких умовах практично втрачає керування.

Сучасні прикладні програми комп'ютерного проектування та інженерних досліджень дозволяють успішно створювати твердотільні моделі матеріальних об'єктів і віртуально дослідити їх на стійкість.

Метою нашої роботи було створення твердотільної моделі задньої підвіски автомобіля, в яку входять балка з піввісями, ступиці, колісні диски з колесами та пружні елементи – листові ресори, та дослідити частотні характеристики цієї системи.

Для першої частини ми застосували програму Solid Works і створили модель підвіски за реальними розмірами, задавши характеристики матеріалів, з яких виготовлені її частини.

Наступним кроком було визначення частотних резонансних характеристик підвіски як пружної системи в умовах навантаження певною масою рухомих опор пружних елементів та фіксації одного колеса в додатку Simulation (Solid Works).

Результати розрахунків засвідчили, що основні п'ять частот коливань підвіски знаходяться в межах кількох десятків герц (залежно від завантаження автомобіля).

Елементарні математичні розрахунки, що базуються на таких параметрах, як швидкість руху автомобіля (частота обертання коліс) та розмірна періодичність хвилястого покриття дороги, встановили, що частота впливу хвилястості дорожнього покриття цілком попадає в діапазон резонансних частот коливань підвіски при певних швидкостях руху. Для автомобіля ГАЗ-69 при русі без завантаження на швидкості 50-57 км/год по "гармошці" з періодичністю 2,2-2,7 м виникає реальний ризик втрати колесами контакту з дорожнім покриттям і автомобіль може стати некерованим.

Сподіваємося, що наші результати при належному організаційному і технічному підході дозволять виробити практичні рекомендації для водіїв та сприяти зменшенню числа дорожньо-транспортних пригод.

Література:

1. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010. -784с.
2. Осепчугов В.В., Фрумин А.К. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: (Уч. для вузов по спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство»). – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин [Текст]: учебник / Г.А.Смирнов. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Конструкции подвесок / Пер. с нем. В.П.Агапова. - М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
5. Мартынюк А.А. и др.. Динамика и устойчивость движений колесных транспортных машин. – К., «Техніка», 1981 – 223 с.

УДК 681.3

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ

Бреус А. О., доцент, Торосян О. В., асистент, Сердюк О. Л., аспірант
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

Сучасне високотехнологічне виробництво на даному етапі розвитку неможливо уявити без застосування високоточних фрезерних верстатів з ЧПК, які мають високу жорсткість, оснащуються потужними шпинделями та універсальними системами ЧПК. Ці показники дозволяють втілити у реальність високошвидкісний метод обробки алюмінію та його сплавів. Основним базовим принципом високошвидкісної обробки є те, що при високій швидкості обробки деталі спостерігається різке зменшення сил різання. Алюміній та дюралюмінієві сплави набули широкого застосування в промисловості. Відомо, що алюміній є м'яким матеріалом та у процесі фрезерування якого утворюється стружка, схильна до налипання на гострі кромки фрезерного інструменту. Саме цей факт ускладнює використання методу високошвидкісної обробки. Адже ідея високошвидкісної обробки полягає у зменшенні сил різання за певної швидкості обробки. Така закономірність призводить до зміни розподілу тепла у зоні різання. При високошвидкісній обробці тепло практично не передається деталі, а навпаки все концентрується в стружці, але при фрезеруванні алюмінію це може призвести до налипання стружки на кромки фрези і забиванні спіральних канавок, що відводять стружку.

Також варто відзначити, що при фрезеруванні алюмінію виникають сильні внутрішні напруги в металі, які призводять до зміни геометрії деталі, а також до короблення матеріалу, особливо це критично для високоточних розмірів. Щоб уникнути браку під час виготовлення деталей з алюмінію механічні операції розбиваються на чорнові та чистові. Перед формуванням остаточних розмірів закладаються термічні операції які дозволяють зняти внутрішні напруги в матеріалі.

Нині перед реалізацією метода високошвидкісної обробки в виробництві є чимало проблем. Багато компаній виробників САМ систем займаються розробкою, вивченням та створенням програмного модуля для даного напрямку. Одне з найкращих рішень реалізації цієї стратегії запропонувала компанія SolidCAM, яка випустила модуль iMachining. Цей модуль за своєю суттю спрямований на підвищення ефективності використання високошвидкісної стратегії обробки. Серед особливостей даного модуля можна виділити такі як автоматичний вибір режимів з урахуванням вибраного інструменту та обладнання. Траєкторії руху інструменту згладжені зі змінною подачею, що призводить до істотного зниження навантаження у процесі різання.

Модуль iMachining дозволяє забезпечити автоматичну генерацію керуючих програм для верстатів з ЧПК. Це дозволяє скоротити час обробки, а також істотно збільшити термін служби та знизити зношування інструменту в процесі використання в порівнянні з традиційними методами фрезерування які існують

на даний момент серед різних САМ систем, в яких також застосовуються принципи оптимальних траєкторій руху інструменту при використанні високошвидкісної обробки. Застосовуючи модуль iMachining, процес різання здійснюється на високих швидкостях зі зняттям малого шару матеріалу.

Така САМ система дозволяє заощадити час, що витрачається на обробку, знизити процес написання керуючої програми, все це в комплексі забезпечує високу якість поверхні, точність деталі, що обробляється, і збільшує термін служби ріжучого інструменту.

Література

1. Somekh E. Design with SolidWorks. Manufacture with SolidCAM / Somekh E. – Bielefeld.: VDW-Nachwuchsstiftung GmbH. 2015 – 230 p. ISBN 978-3-942817-28-8.

2. Wittington K. Vysokoskorostnaya mekhanooobrabotka [High-Speed Machining] [Electronic resource] / Wittington K., Vlasov V.V. // CAD and graphics. - 2002 - No.11 - P.10-15.

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Витвицький В. С., к.т.н., Бекіш І.О., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

У сучасному машинобудуванні інтенсивно розвиваються методи топологічної оптимізації, які застосовують в автомобільній і аерокосмічній галузі, біомедицині та робототехніці, а також у інших галузях. Цьому сприяє поширення методів адитивного виробництва та наявність інструментів для топологічної оптимізації у сучасних CAD/CAE системах. Такі можливості надають продукти Autodesk Inventor та Fusion 360, Nastran, ANSYS, SOLIDWORKS, Siemens NX та Solid Edge, CATIA 3DEXPERIENCE, PTC Creo Simulate, маючи у своєму арсеналі вбудовані модулі топологічної оптимізації [1].

Алгоритми топологічної оптимізації знаходять найкраще розміщення матеріалу в межах заданої цільової функції та системи обмежень. Цільовою функцією може бути мінімізація або максимізація маси, об'єму, переміщення або податливості, при цьому забезпечується одночасно відповідність заданим вимогам та задовольняється система обмежень на максимально допустимі для заданого матеріалу напруження, деформації чи переміщення, або інші експлуатаційні обмеження [2]. Наприклад, при мінімізації маси використання алгоритму дозволяє вирішити задачу її зменшення та збільшення питомої міцності деталі. Крім того, такий метод оптимізації дозволяє отримати принципово нові складні форми деталей і конструкцій, виконання яких у ручному режимі неможливе. Ускладнення геометричних форм раніше не допускалося з огляду неможливості їх відтворення на практиці внаслідок обмежень традиційних способів виготовлення, проте сучасні методи литва та

адитивного виробництва (наприклад, SLM (Selective Laser Melting) або DMLS (Direct Method of Laser Sintering)) дозволяють вирішити цю проблему.

Розглянемо застосування топологічної оптимізації конструкції деталі нафтогазового машинобудування – щеки та накладок талевого блока УТБА-5-225. Враховуючи, що проектування ведеться на основі існуючого прототипу, то форму, геометричні розміри та експлуатаційні характеристики використано як вихідні дані для створення 3D-моделі деталей та проведення топологічної оптимізації за допомогою пакету SOLIDWORKS (рис. 1, а). За критерій оптимізації взято зменшення маси деталей при збереженні стійкості та витривалості, а також не перевищення рівня еквівалентних напружень величини 80% від границі текучості заданого матеріалу. Для можливості проведення топологічної оптимізації вузла його було перетворено на суцільну деталь, оскільки такий аналіз у вибраному програмному пакеті можливо провести одночасно тільки для однієї деталі. Тобто у моделі знехтувано контактними параметрами. Таке перетворення не несе зміни в характері навантаження деталей, враховуючи розміщення деталей у вузлі. Як видно із рисунка 1, а велика частина об'єму деталі не несе навантаження, але конструктивно необхідна для виконання нею її призначення у вузлі. Таким чином, не можна прийняти результат моделювання як кінцевий, тому провівши додатковий статичний аналіз напружено-деформованого стану та проаналізувавши епюри еквівалентних напружень за Мізесом та коефіцієнту запасу здійснено корекцію геометричної форми (рис 1, б). У подальшому виконано остаточну перевірку напружено-деформованого стану отриманих деталей (рис 2, в).

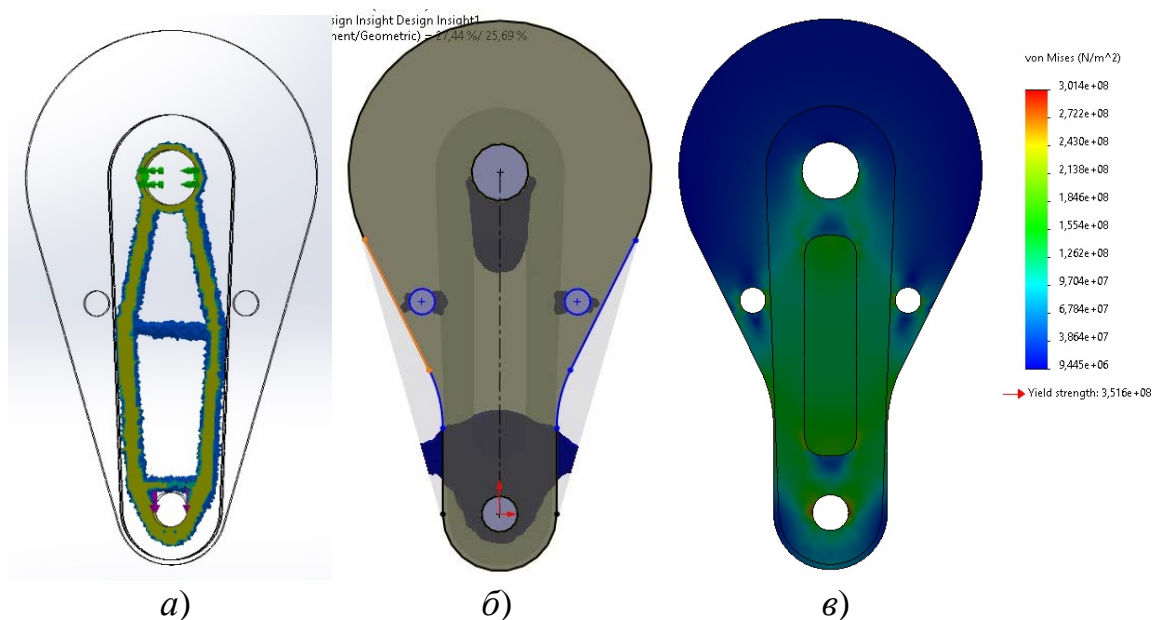


Рис. 1. Результат топологічної оптимізації із мінімізацією маси (а), корекція геометричної форми моделі (б) та епюра еквівалентних напружень за Мізесом (в)

Поєднанням методів топологічної та параметричної оптимізації отримано оптимальні конструкції деталей із мінімальною масою (для деталі щека масу зменшено на 11 % , а для її накладки на 25 %), при чому рівень еквівалентних

напружень за Мізесом не перевищує величини 80% від границі текучості заданого матеріалу.

На сьогодні машинобудівні САПР мають певні обмеження інструментів топологічної оптимізації збірок, котрі полягають в тому, що або неможливо застосовувати топологічну оптимізацію для збірок (наприклад, SOLIDWORKS, Inventor та ін.) або можливо, проте при цьому одночасно може бути оптимізована тільки одна деталь збірки (наприклад, PTC Creo Simulate). Крім того перелік критеріїв для топологічної оптимізації в машинобудівних САПР часто обмежений і, наприклад, знайти оптимальний розподіл матеріалу в заданій формі для забезпечення, наприклад, бажаних частотних характеристик (власних форм коливань та їхніх частот) при мінімізації маси не завжди можливо. Також слід зазначити, що більшість машинобудівних САПР використовують метод твердого ізотропного матеріалу з пеналізацією (SIMP). Але на сьогодні рядом дослідників запропоновані модифікації SIMP методу для роботи з мультифазними чи анізотропними матеріалами, що в майбутньому може розширити сферу застосування топологічної оптимізації для концептуального дизайну в машинобудуванні.

Таким чином можна резюмувати наступне:

- більш широке застосування методи топологічної оптимізації мають в тих сферах, де виготовлення деталей здійснюється з використанням адитивних технологій або мова йде про двомірні деталі (диски, зірочки тощо);

- на сьогодні функціонал більшості машинобудівних САПР дозволяє виконувати топологічну оптимізацію дизайну деталей з урахуванням ряду технологічних факторів;

- в більшості випадків мова йде про використання топологічної оптимізації деталей з ізотропних однофазних матеріалів, але на сьогодні запропоновано ряд рішень для розширення топологічної оптимізації, наприклад, на двофазні матеріали чи анізотропні матеріали;

- в ряді випадків топологічну оптимізацію можна використовувати для пошуку концептуальних рішень дизайну деталей в машинобудуванні з подальшою корекцією дизайну деталі для забезпечення конструктивних чи технологічних вимог.

Отже, методи топологічної та параметричної оптимізації є перспективними для застосування при проектуванні деталей та вузлів нафтогазового машинобудування, оскільки дозволяють значно зменшити затрати часу на розроблення та аналіз концептів конструктором, оминати великий об'єм конструкторської роботи, і при цьому витримати всі технологічні та конструктивні обмеження, забезпечивши міцність конструкції та мінімум цільової функції оптимізації.

Література:

1. Generate an Optimum Lightweight Legs Structure Design Based on Critical Posture in A-FLoW Humanoid Robot / A Luthfi et al. // Journal of Physics Conference Series 1007(1):012070. – 2018. – №1007. – С. 1–7.

2. Bendsoe M.P., Sigmund O. «Topology Optimization: Theory, Methods and Applications». Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003.

АНАЛІЗ САМОЗБУДЖЕННЯ ОСЬОВИХ КОЛИВАНЬ В ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ НА КОНІЧНИХ ГАЗОВИХ ОПОРАХ

Віштак І. В., к.т.н., доцент, Петров О. В., к.т.н., доцент
Вінницький національний технічний університет

В процесі конструювання шпинделів на конічних опорах за представленою схемою (рис. 1) доводиться стикатись з явищем самозбудження осьових коливань. Такі коливання проявляють себе у вигляді низькочастотних вібрацій з амплітудою, яка може сягти кількох міліметрів.

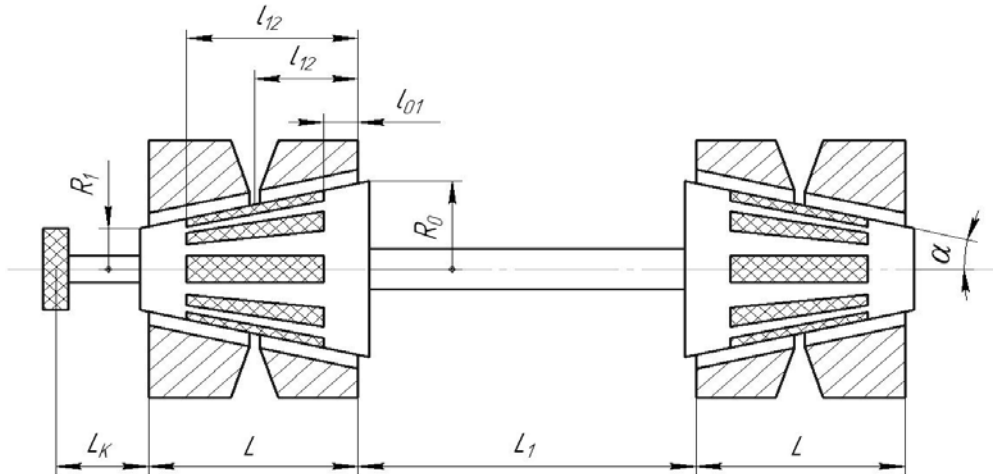


Рис.1. Шпиндельний вузол на газових конічних опорах з поздовжніми канавками

Шпиндельні вузли з конічними опорами мають на відміну від шпинделів з радіальними опорами меншу кількість поверхонь з відносно точним їх розташуванням. Шпиндель на газових конічних опорах з поздовжніми канавками (рис. 1) має симетричну структуру і складається з двох однакових опор, розділених проміжком довжиною L_1 . Для отримання максимально можливих силових характеристик та жорсткості необхідно раціонально підібрати як макрогеометричні параметри (кут конусності α , довжину опори L), так і мікрогеометричні параметри, які характеризують розміри канавок [1].

Під час зміни тиску, що подається, та параметрів профілювання поверхонь опор канавками різної форми, можуть виникати коливання, що є причиною виходу з ладу шпиндельних вузлів. Самозбудження осьових коливань не пов'язане з обертанням валу і не має нічого спільного із явищем "напівшвидкісного вихору" [2].

Шпиндельні вузли на газових конічних опорах схильні до самозбудження осьових коливань. Самими небезпечними періодами виникнення коливань є період запуску та зупинки роботи шпиндельного вузла за газових опор. Немає повної ясності про умови їх виникнення, і це перешкоджає конкретним рекомендаціям щодо їх усунення.

Лінійний динамічний аналіз конічних опор [2] може стати основою для подальшого дослідження цього негативного явища та визначенню впливу

різноманітних конструктивних та експлуатаційних факторів на умови виникнення самовільних коливань підвищеної маси.

В лінійному наближенні (малій амплітуді коливання) динаміка осьових рухів системи з розподіленими параметрами, якою є газовий мастильний шар, може бути подана як динаміка осцилятора з одним ступенем вільності.

Цей механізм виявляється дуже специфічним тому, що сили жорсткості та лінійно-в'язкого опору стають залежними від швидкості зміни товщини мастильного шару і, отже, від частоти коливань. Крім того, такий осцилятор може, в принципі, мати негативний в'язкий лінійно-опір.

Головним параметром, який визначає ступінь не стаціонарності процесу є

$$\Gamma = 12\mu R_0^2 / (p_a c^2 T_0),$$

де μ – динамічна в'язкість газу; R_0 – максимальний радіус опори; p_a – атмосферний тиск; c – номінальна товщина мастильного (газового) шару; T_0 – масштаб часу (характерний період).

Макро- та мікрогеометрія кожної опори характеризується такими параметрами як: кут конусності α , відносна довжина опори $\lambda = L/(2R_0)$ (L – довжина кожної опори), координатами початку та кінця профільованої зони, координатою місця подачі стиснутого повітря, глибиною канавки [1, 2]. Канавки рівномірно звужуються, а тиск подачі газу є постійним.

Було виявлено, що при певному значенні параметра Γ частота коливань ставала нульовою для деяких сукупностей параметрів геометрії конічної опори, тому усунути самозбудження можна як спеціальним підбором параметрів мікрогеометрії, так і призначенням робочого параметру Γ таким, що не попадає в область нестійкості, тобто змінити масу m , зазор c , радіус R_0 .

Дослідження показали, що глибина канавок найбільше впливає на виникнення умов самозбудження, що повністю узгоджується із експериментальними фактами і виробничим досвідом. Крім того, виявлено, що підвищення тиску нагнітання газу дещо розширює область нестійкості.

На підставі проведених досліджень можна також зробити висновок, що небезпеку виникнення осьової нестійкості та самозбудження коливань можна повністю усунути, підібравши параметри мікрогеометрії: товщину мастильного шару, глибину, границі, конфігурацію канавок, а також кут конусності α . В подальших дослідженнях будуть проводитися роботи по визначенню оптимальних параметрів шпindelних вузлів на конічних газових опорах з поздовжніми канавками.

Література:

1. Vishtak I, Petrov O, Savulyak V and Sukhorukov S. Influence of the profile of longitudinal grooves of various depths on increasing static characteristics of radial gas bearings. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 2021, 012011 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1060/1/012011

2. Газові підвіси шпindelних вузлів: монографія / В. О. Федотов, І. В. Федотова. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 244 с.

ГІБРИДНЕ СУБТРАКТИВНО-АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО

**Воронцов Б.С. , д.т.н., проф, Пасічник В.А. , д.т.н., проф,
Цибуленко В.О., аспірант**

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Протягом останнього десятиліття нові виробничі технології швидко з'являються та зміцнюють свої позиції у виробничому секторі. Гібридні субтрактивно-адитивні технології [1] є одними з таких технологій. Їх поява супроводжується необхідністю створення інструментів та допоміжних систем, що дозволяє максимально використовувати їх потенціал у виробничих процесах, при цьому знижуючи потребу в людських ресурсах та підвищуючи рівні автоматизації виробництва [2].

Селективне лазерне плавлення (SLM) та пряме лазерне наплавлення (DED) викликають інтерес у промисловців, оскільки їх використання дозволяє збільшити термін служби критично важливих металевих компонентів, забезпечити дуже високу гнучкість проектування, впроваджувати вироби, які мають дуже складну внутрішню та зовнішню геометрію, а також проектувати вироби з декількох матеріалів [3-6].

У той час SLM надає великі можливості при інтеграції з іншими технологіями [7]. Наприклад, нанесення складних шарів особливо міцних матеріалів поверх нових заготовок, або вже існуючих деталей чи деталей, які підлягають ремонту [8]. Гібридизація між адитивними та субтрактивними процесами в даний час є майже стандартною практикою для переважної більшості металевих деталей, вироблених SLM, які додатково вимагають механічної обробки для отримання відповідної якості поверхні, більш точних розмірних та функціональних властивостей [9, 10].

Інтеграція цих двох технологій у гібридний технологічний ланцюжок має переваги перед традиційними виробничими технологіями, будучи в змозі постачати деталі точної або майже точні форми в більш короткі терміни [11]. Хоча інтеграція адитивних і субтрактивних процесів на єдиному гібридному виробничому верстаті розкриває великі можливості для промислового впровадження, виникають, як і раніше, дуже значні проблеми, головним чином пов'язані з інтеграцією обладнання, проектуванням та вивченням можливостей процесів, а також з управлінням процесами [12]. Основні напрямки, пов'язані з визначенням шляхів поєднання адитивних та субтрактивних технологій є такі, що дозволять оптимальним чином використати переваги обох процесів та забезпечити виробництво з більш високою продуктивністю з врахуванням економічних, якісних та екологічних показників.

Література:

1. Chryssolouris G (2006) Manufacturing systems: theory and practice, 2nd edn. Springer, Verlag <https://link.springer.com/book/10.1007/0-387-28431-1>

2. Al-wswasi M, Ivanov A, Makatsoris H (2018) A survey on smart automated computer-aided process planning (ACAPP) techniques. *Int J Adv Manuf Technol* 97:809–832 <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1966-1>
3. Ford S, Despeisse M (2016) Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *J Clean Prod* 137:1573–1587 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
4. Tabernero I, Paskual A, Álvarez P, Suárez A (2018) Study on arc welding processes for high deposition rate additive manufacturing. *Procedia CIRP* 68:358–362 <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.095>
5. Bikas H, Lianos AK, Stavropoulos P (2019) A design framework for additive manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 103:3769–3783 <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03627-z>
6. Khan SZ, Masood S, Cottam R (2017) Mechanical properties of a novel plymetal manufactured by laser-assisted direct metal deposition. *Int J Adv Manuf Technol* 91:1839–1849 <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9851-2>
7. Wohlers Terry T, Campbell Ian, Diegel Olaf, Huff Ray, Kowen Joseph, Wohlers Report (2019) 369-page publication, Wohlers Associates, Inc., March 2019 <https://wohlersassociates.com/books-reports.html>
8. Zhu Z, Dhokia V, Newman ST (2017) A novel decision-making logic for hybrid manufacture of prismatic components based on existing parts. *J Intell Manuf* 28:131–148 <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0966-8>
9. Vayre B, Vignat F, Villeneuve F (2012) Metallic additive manufacturing: state-of-the-art review and prospects, *Mechanics & Industry*. 13(2):89–96 <http://dx.doi.org/10.1051/meca/2012003>
10. Soshi M, Ring J, Young C, Oda Y, Mori M, Masahiko (2017) Innovative grid molding and cooling using an additive and subtractive hybrid CNC machine tool. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, p 66 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.093>
11. Chong L, Ramakrishna S, Singh S (2018) A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. *Int J Adv Manuf Technol* 95:2281–2300 <https://www.springerprofessional.de/en/a-review-of-digital-manufacturing-based-hybrid-additive-manufact/15247518>
12. Nau B, Roderburg A, Klocke F (2011) Ramp-up of hybrid manufacturing technologies. *CIRP J Manuf Sci Technol* 4(3): 313–316 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.04.003>

СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА РОБОТИ ІЗ СЕРВІСАМИ ВІДОБРАЖЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ

¹Газдюк К.П, *PhD, асистентка*, ¹Жихаревич В.В., *к. ф.-м. н., доцент*,

¹Нігайчук А.С., *магістрант*, ²Нікітіна О.М., *к. ф.-м. н., вчителька*

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

²Чернівецький ліцей №1 математичного та економічного профілів

Актуальним та важливим фактором у всіх галузях промисловості України на сьогоднішній день є ефективність проектування, виготовлення, вдосконалення і модернізація будь-яких технологічних операцій і продуктів з використанням комп'ютерних систем. САД (Computer-aided design) широко використовується в розробках пов'язаних з доповненою реальністю, в моделюванні технологічних та машинобудівних процесів, штучному інтелекті тощо. Поряд з розширенням масштабів виготовлення технологічного оснащення та інструментів, збільшенням попиту на зручні та багатофункціональні додатки, виникає необхідність у створенні особливих додатків, які можна використовувати в онлайн режимі та які враховують специфіку виробництва і не є дороговартісними.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення, яке відтворює візуалізацію 3D файлів клієнтів, проводячи їх конвертацію на сервері, та надає можливості користувачу взаємодіяти як з моделями загалом так і з їх окремими частинами. Створене ПЗ дозволяє зберігати файли клієнтів, конвертувати та візуалізувати 3D моделі, змінювати їхні образи для попереднього перегляду, а також надає можливість користувачам повністю керувати процесом відображення.

Реалізація функції додатку для взаємодії з 3D файлами здійснена інструментами Noops Communicator, які надають можливість проводити конвертацію на стороні сервера та взаємодіяти з 3D моделями в браузері. Дана перевага дозволяє значно оптимізувати ресурсозатратність апаратного забезпечення користувача та отримати можливість спільного доступу до файлів з різних пристроїв. Також інструменти для перегляду моделей дозволяють спростити процес обміну файлами між користувачами в режимі онлайн.

При розробці API для керування користувачами та моделями було використано ASP.Net Core – програмне забезпечення, яке працює як на повній платформі .Net Framework, так і на платформі .Net Core. Фреймворк являє собою повний перелік, який об'єднує ASP.Net Mvc та ASP.Net Web Api у єдину модель програмування.

Для створення файлового сховища було використано Node.js, Express та MongoDB. Node.js – кросплатформне середовище, яке дозволило в процесі розробки використати JavaScript для написання інструментів командного рядка та для запуску сценаріїв на стороні сервера для створення динамічного вмісту веб-сторінки до того, як сторінка буде відправлена у веб-браузер користувача. Express.js – серверний фреймворк, який був використаний як стандартна серверна платформа для Node.js. MongoDB – доступна кросплатформна

програма баз даних з вихідним кодом, орієнтована на документи, яка використовує файли, подібні до JSON, з додатковими схемами, що робить її зручним інструментом для маніпуляцій з даними розробленого програмного продукту.

Клієнтська частина додатку була створена за допомогою вебфреймворку Angular – безкоштовної платформи веб-додатків на основі TypeScript з відкритим вихідним кодом, яка містить повний стек технологій, що складається з бази даних MongoDB, сервера веб-додатків Express.js, самого Angular (або AngularJS) і середовища виконання сервера Node.js.

Для взаємодії з даними користувачів та моделей було використано Entity Framework – платформу ORM з відкритим вихідним кодом для додатків .NET, яку підтримує Microsoft. Це дозволило працювати з даними, використовуючи об'єкти специфічних для домену класів, не зосереджуючи увагу на базових таблицях і стовпцях бази даних, де ці дані зберігаються. Entity Framework дозволив працювати на більш високому рівні абстракції, будуючи зв'язки між даними, тобто створити та підтримувати орієнтовану на дані програму з меншою кількістю коду в порівнянні з традиційними методами.

У ході виконання було розроблено файлове сховище, створено API для взаємодії з користувачами та моделями, створено компоненти для модулів та для перегляду 3D моделей.

Даний продукт створений для полегшення роботи з 3D моделями та для оптимізації цього процесу, оскільки не потребує багато обчислювальної потужності, адже конвертація моделей відбувається на сервері. Також даний продукт надає можливість для спільного доступу до файлів та керування ними.

У ході аналізу та порівняння рішень на основі Hoops Communicator та Forge Viewer було виявлено, що Hoops Communicator загалом виконує відображення моделей швидше на етапі конвертації та рендерингу моделей. Однак, як було виявлено, деякі файли може відображати менш якісно, що все ж компенсується продуктивністю.

Створене ПЗ може бути використане як допоміжний засіб для ефективною візуалізації 3D моделей технологічного та машинобудівного оснащення та інструментів, а також для економії ресурсів. В перспективі можливе вдосконалення існуючого користувацького інтерфейсу, а також додавання можливості використання всіх інших інструментів Hoops Communicator для взаємодії з 3D моделями.

Література:

1. Hoops Communicator. – Technical Documentation [Електронний ресурс]: Інтернет-портал. – Електронні дані. – 2016. – Режим доступу: <https://docs.techsoft3d.com/communicator/latest/build/overview/technical-overview.html> (дата звернення: 24.12.2021).

2. Angular. File download with progress [Електронний ресурс]: Інтернет-портал. – Електронні дані. – 2021. – Режим доступу: <https://nils-mehlhorn.de/posts/angular-file-download-progress> (дата звернення: 24.12.2021).

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЙ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

¹Гапонова О.П., *д.т.н., доцент*, ²Тарельник Н.В., *к.е.н., доцент*

¹Сумський державний університет

²Сумський національний аграрний університет

У зв'язку з ненадійним положенням традиційної енергетики через дефіцит органічного палива, фізичного й морального старіння встаткування ТЕС, через їх шкідливий вплив на навколишнє середовище, ядерна енергетика працює досить стабільно й при дотриманні всіх заходів безпеки, і є самим екологічно чистим джерелом енергії. Внесок ядерної енергетики у світове виробництво електроенергії в цей час становить більше 18 %, причому більше ніж в 10 країнах він становить від 40 до 80 %. До таких країн відноситься й Україна. Сьогодні в Україні працює чотири АЕС, на яких діють 15 енергоблоків типу ВВЭР (водо-водяний енергетичний реактор) загальною потужністю 13880 МВт. Аналіз енергетичних потреб країни й можливостей їх задоволення свідчать про доцільність і необхідність розвитку в Україні атомної енергетики. Вибір саме такого шляху відповідає й світовій тенденції [1].

Електроенергетика є одним з основних споживачів насосного обладнання (НО). На будь-якій електростанції експлуатується велика кількість найрізноманітніших насосів. Незалежно від типу реакторів і технологічних схем ядерних енергетичних установок одним з обов'язкових видів обладнання є насоси, які забезпечують циркуляцію охолодженого середовища в першому, другому й допоміжному контурах. Надійність експлуатації реактора, його працездатність у нормальних, перехідних та аварійних режимах, залежать від наявності циркуляції охолоджувального середовища, тобто від працездатності насосів [2].

Порівняно з енергетичними установками на органічному паливі умови роботи матеріалів в атомних енергетичних установках є більш складними й багатofакторними. Більшість відповідальних деталей насосних агрегатів АЕС працюють за високих швидкостей, тисках, температур, а також в умовах абразивного, корозійного, водневого й іншого видів впливу робочих середовищ. Крім цього, ядерний реактор, що представляє найважливішу частину АЕС, значно впливає на відбір конструкційних матеріалів деталей НО. Матеріали, що використовують на АЕС повинні бути радіаційно-стійкими, добре поглинати нейтрони, а також бути жаростійкими й жароміцними.

Різні види опромінювання, що впливають на тверді тіла, викликають специфічні радіаційні дефекти. Конструкційні матеріали під дією опромінення зазнають структурних перетворень, що приводять до небажаних змін механічних властивостей. За характером впливу на механічні властивості опромінення нагадує холодну пластичну деформацію – матеріал зміцнюється, але втрачає пластичність.

При високотемпературному опроміненні дуже великими потоками нейтронів у деяких металевих матеріалах (аустенітні хромонікелеві сталі й сплави, сплави на основі Ni, Mo, Ti, Zr, Вe) виявляється розбухання. Наприклад, аустенітна сталь, опромінена при температурі 450 °С, збільшує об'єм на 10 %. При опроміненні різко знижується корозійна стійкість металів і сплавів [3].

Вода й водяна пара є теплоносіями у водному й водно-паровому трактах АЕС. Внаслідок радіолізу змінюється склад електроліту – відбувається руйнування молекул води з утворенням іонів і атомів кисню, водню й лужної гідроксильної групи – ОН. Конструкційні матеріали, що піддаються опроміненню, працюють у контакті з водою й парою. Кисень, що утворюється, окиснює метал, а водень його наводнює і тим самим додатково окрихчує. Радіоліз води й збільшення концентрації гідрооксидних груп сприяє розчиненню поверхневих оксидних плівок, які у звичайних умовах захищають метал від корозії. У середовищі води, вологої або перегрітої пари електрохімічний процес корозії може супроводжуватися хімічною корозією. При опроміненні стійкість металів в умовах хімічної корозії знижується.

Таким чином, під час удосконалення існуючих технологій підвищення якості поверхневих шарів відповідальних деталей НО для АЕС і розробці нових, виникають значні труднощі, але дослідження в цій галузі є актуальними і потребують вирішення.

Підвищення режимних параметрів деталей НО супроводжується появою нових композиційних матеріалів, типу «основа – покриття», що поєднують у собі захисні властивості покриттів з механічною міцністю основи. Перспективним напрямком створення цих матеріалів можуть бути нові екологічно чисті, енергоефективні методи (алітування, цементация, азотування, нітроцементация, силіціювання та ін.), створені на базі методу електроіскрового легування (ЕІЛ). Формування поверхневих шарів відповідальних деталей НО вище зазначеними методами дозволить підвищити їх надійність та довговічність більш економічними технологіями.

Слід відмітити, що хімічний склад матеріалів деталей, що стикаються з теплоносієм, не містить спеціальних добавок кобальту та інших елементів, що утворюють довго живучі ізотопи в активному робочому середовищі. Наприклад, кобальт має великий період напіврозпаду і його не рекомендовано використовувати в ущільненнях насосів атомних електростанцій [4].

Відомо, що при ЕІЛ, завдяки значній гамі матеріалів (можливо використовувати любі струмопровідні матеріали), участі міжелектродного середовища в процесі формування поверхневих шарів, цим методом можна в широких межах змінювати механічні, термічні, електричні, термемісійні й інші властивості робочих поверхонь деталей. До основних особливостей ЕІЛ слід віднести локальну обробку поверхні (легування можна проводити в певних місцях радіусом від часток міліметра і більше, не захищаючи при цьому іншу поверхню деталі); відсутність нагріву деталі в процесі обробки; можливість використовувати в якості матеріалів для обробки як чистих металів, так і їх сплавів, металокерамічних композицій, тугоплавких сполук і т. ін.; дифузійне

збагачення поверхні катоду (деталі) складовими елементами аноду без змін розмірів деталі [5].

Поряд з перевагами метод має й ряд недоліків (збільшення шорсткості поверхні, зниження втомлювальної міцності виробів та ін.), які істотно знижують його застосування. Усунути перераховані вище недоліки можна як технологічними методами – застосуванням комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП), створенням нових електродних матеріалів та ін., так і поєднанням ЕІЛ з іншими методами зміцнення, наприклад, безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО), нанесенням металополімерних матеріалів (МПП) та ін.

Отже, метод ЕІЛ можна рекомендувати для підвищення якості поверхневих шарів відповідальних деталей НО для АЕС.

Література:

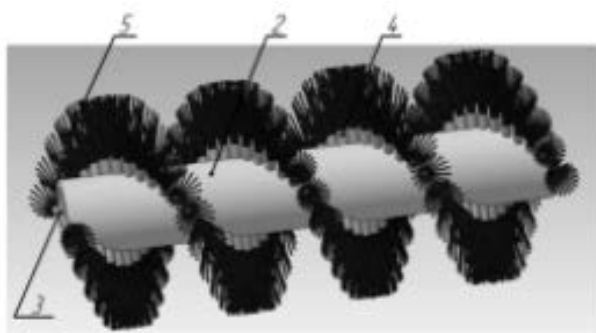
1. Маляренко В. А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. / Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка. – Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
2. Шелегов А. С. Насосное оборудование АЭС: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. С. Шелегов, С. Т.Лескин, В. И. Слободчук. – Москва: НИЯУ «МИФИ», 2011. – 346 с.
3. Конструкционные материалы АЭС / Ю. Ф. Баландин, И. Б. Горынин, Ю. И. Звездин, Б. Г. Мирков. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Майер Э. Торцовые уплотнения. – Москва: Машиностроение, 1978. – 288 с.
5. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М. – Кишинев: Штинца, 1985. – 196 с.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШНЕКІВ

Гевко І.Б., д.т.н., професор, Ляшук О.Л., д.т.н., професор, Цьонь О.П., к.т.н., доцент, Станько А.І., аспірант

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

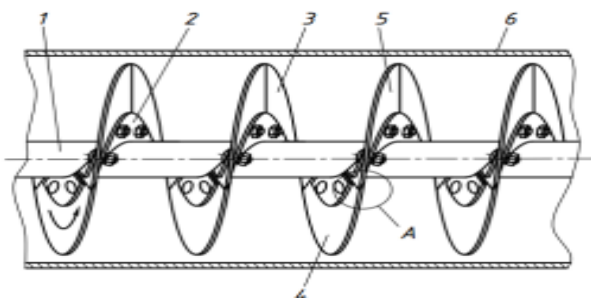
Гвинтові конвеєри широко використовуються у різних галузях економіки, й особливо у сільськогосподарському виробництві при переміщенні насінневих матеріалів, зернових, міндобрив тощо. Однією із вимог, які ставляться до них, є мінімізація пошкодження (транспортування) насінневих зернових матеріалів, що зумовило розроблення прогресивних конструкцій гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями. На рис. 1 представлено розроблені гвинтові робочі органи із еластичними поверхнями. Зокрема на рис. 1.а, рис. 1.в, рис. 1.д і рис. 1.ж представлено їх конструктивні схеми, а на рис. 1.б, рис. 1.г, рис. 1.е і рис. 1.з їх загальний вигляд.



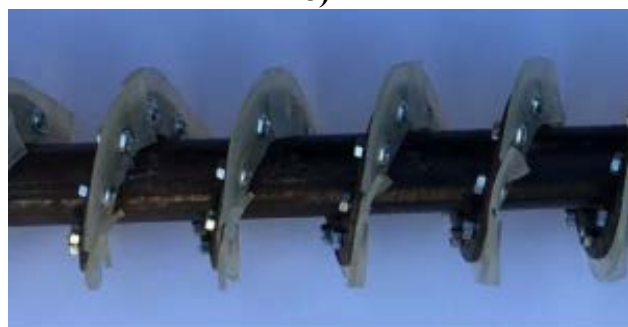
а)



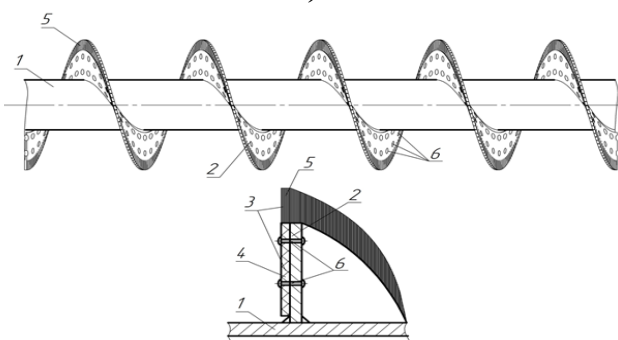
б)



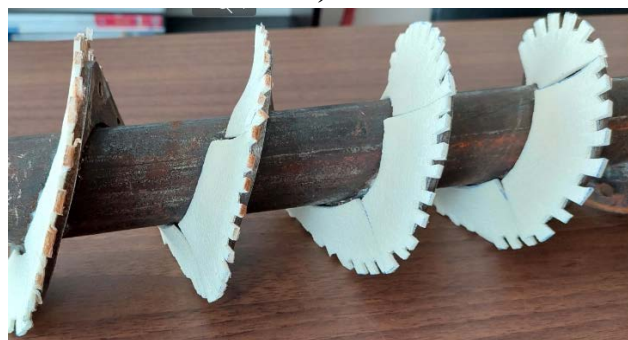
в)



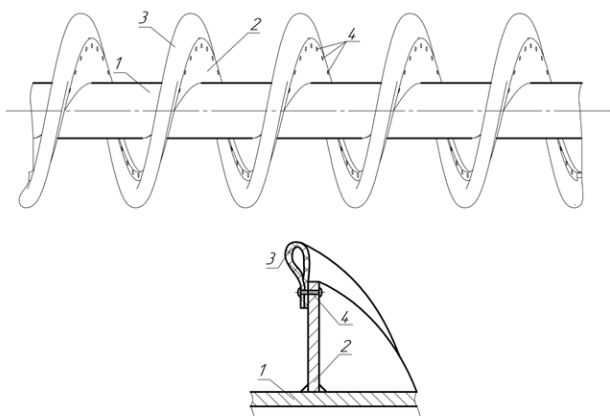
г)



д)



е)



ж)



з)

Рис.1. Гвинтові робочі органи із еластичними поверхнями:
а), в), д) конструктивні схеми; б), г), е) загальні вигляди

Конструктивне рішення еластичного гвинтового робочого органу з щіткоподібним елементом представлено на рис. 1.а (рис. 1.б). Воно передбачає наступну послідовність технологічних операцій при виготовленні:

1. Попередня розмітка (відповідно до прийнятого кроку) і свердління отворів 4 по гвинтовій поверхні пустотілого вала 2.

2. Закріплення пустотілих циліндричних трубок 3 в отворах 4 по гвинтовій поверхні пустотілого вала 2 (зварюванням, посадкою з натягом, паянням).

3. Закріплення в пустотілих циліндричних трубках 3 пучків еластичних щіткоподібних елементів (еластичних щіток) 5 (клеєнням).

4. Закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала 2 цапф (механічно, зварюванням).

При використанні даної технології можна одержати лише двохзахідні еластичні гвинтові робочі органи (з подвійною спіраллю). Отримання однозахідних чи багатозахідних шнеків можливе при кріпленні еластичних елементів на торцевій спіралі шнека (конструктивні рішення таких еластичних гвинтових робочих органів представлені на рис. 1.в - рис. 1.з). Процес їх виготовлення передбачає виконання наступних технологічних операцій:

1. Свердління свердлильною головкою отворів на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі 2, яка встановлена в кондуктор.

2. Калібрування спіралі 2 на заданий крок.

3. Жорстке закріплення спіралі 2 з заданим кроком на поверхні пустотілого вала 1 (зварюванням).

3. Механічне закріплення в отворах торцевої поверхні спіралі 2 еластичних елементів 3 (секційних (рис. 1.в), з периферійною щіткоподібною частиною (рис. 1.д), із суцільним камероподібним елементом (рис. 1.д)).

4. Закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала 1 цапф (механічно, зварюванням).

Окрім представлених технологій виготовлення еластичних шнеків існує цілий ряд інших, наприклад з полімерним покриттям, кріпленням радіальних еластичних щіток до гвинтового ребра тощо.

Література:

1. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Драган А.П., Ново сад І.Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей. Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

Гелетій В. М., к.т.н, доцент, Новіцький Я.М. к.т.н, доцент
Національний університет «Львівська політехніка»

Оброблення металів тиском є однією з найбільш продуктивних технологій формування металу. Близько 35-45% усього листового прокату сталі, що виробляється на металургійних заводах обробляється на профілезгинальних станах; це більше сталі, ніж використовується в автомобільній промисловості [1].

Типова схема лінії виготовлення гнутого профілю з листового прокату показана на рис. 1. Швидкісний режим роботи технологічних ліній з виготовлення гнутих профілів на профілезгинальних станах суттєво залежить від підбору елементів приводів, як з точки зору забезпечення їх надійності так і необхідних силових і кінематичних параметрів технологічних операцій. На рис.2, б, в показані руйнування елементів приводу профілезгинального стану, що виникли в результаті перевантажень та інших факторів. Тому задача визначення навантажень в елементах приводів технологічних ліній виготовлення гнутих профілів і підвищення їх несучої здатності є достатньо актуальною.

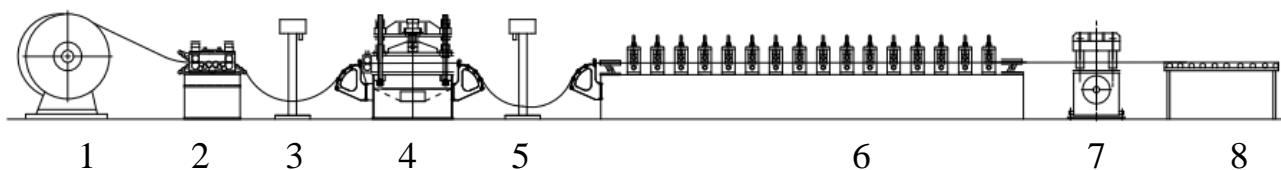


Рис.1. Лінія виготовлення гнутого профілю з листового прокату [1]



Рис.2. Профілезгинальний стан і руйнування елементів його приводу

При дослідження навантажень елементів приводу профілезгинального стану і їх несучої здатності вирішувались завдання експериментального визначення розподілу навантажень в клітях профілезгинального стану, визначення несучої здатності конічних редукторів приводу та циліндричних зубчастих передач приводу валків для формоутворення гнутого профілю.

Для визначення несучої здатності зубчастих передач були використані розроблені авторами комп'ютерні програми, які дозволяють визначати граничні значення крутних моментів. Розроблені рекомендації, що до внесення змін в конструктивні параметри конічного редуктора для підвищення його несучої здатності. Дослідженні причини інтенсивного зношування відкритих зубчастих передач приводу валків і розроблені рекомендації що до вирішення цих проблем.

Проведені дослідження роботи приводу подавача листового прокату до штампу для забезпечення регламентованих кінематичних параметрів подачі заготовки в штамп (рис.3).

Визначені необхідні кінематичні параметри подачі заготовки листового прокату в штамп: загальний період циклу, тривалість нерухомої фази циклу, тривалість фаз пришвидшення і сповільнення та проаналізовані закони руху [2]. Проведені експериментальні заміри кінематичних параметрів подачі заготовки.

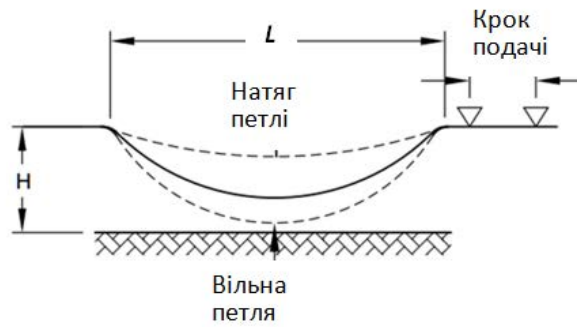


Рис.3. Подавач листового прокату до штамп

Розроблена динамічна модель системи заготовка листового прокату з петлями – привод подавача для визначення інерційних зусиль. Модель та розроблені комп'ютерні програми дозволяють врахувати згинну жорсткість листового прокату [3].

Розроблені рекомендації для підбору елементів приводу подавача для забезпечення регламентованих кінематичних параметрів подачі заготовки в штамп.

Література:

1. Roll forming handbook / Edited by George T. Halmos. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 573 с.
2. Пасіка В.Р., Гелетій В.М., Сологуб Б.В. Кінематичне синтезування законів періодичного руху. Монографія. Львів: Левада. 2021. 123с.
3. Гелетій В.М. Розроблення динамічних моделей механічних систем з канатними елементами/ Вісник НУ «Львівська політехніка». «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів.» 2016 р. № 838, с. 23-28

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕТОДОМ “POWER SKIVING”

Грицай І.Є., д.т.н., професор, Кук А.М., к.т.н., доц
Національний університет «Львівська політехніка»

Протягом останнього часу для виготовлення зубчастих прямозубих і косозубчастих коліс внутрішнього і зовнішнього зачеплення, а також та шліцевих поверхонь все ширше застосовують процес Power skiving (або Hard scudding для гартованих коліс), відомий раніше, як зуботочіння. Завдяки найновішим технологічним розробкам, зокрема, досягненням в галузі верстатобудування, їх програмного забезпечення та інструментального виробництва ця технологія стала гнучкою та ефективною, а також альтернативною традиційним методам зубооброблення при виготовленні коліс модулем до 10 мм. Обладнанням служать як універсальні багатоцільові п'ятикоординатні верстати з ЧПК, так і спеціалізовані зубофрезерні верстати.

Перевагами цього процесу є висока швидкість різання, відсутність неробочих ходів і малий час оброблення, велика об'ємна продуктивність зняття стружки, а також можливість поєднання з іншими методами формоутворення в одній операції.

Різальні інструменти проектують аналогічно до довбачів за розмірами в осьовому січенні, але сам інструмент – чашковий різець є косозубчастим і відповідає евольвентному колесу з гвинтовими зубцями. Різання відбувається за рахунок різниці швидкостей ковзання профілів внаслідок схрещення осей колеса та інструменту на кут, рівний при нарізанні прямозубих коліс куту підйому гвинтової лінії різача.

Для оптимізації умов зубонарізання необхідно мати повну інформацію про його перебіг. Первинна інформація про процес різання міститься в формі та розмірах зрізуваних шарів та їх параметрів – площі перетину, товщини і ширини стружок і закономірностей зміни цих параметрів по шляху різання зубця. Аналіз першоджерел в цій галузі показав, що на сьогодні ще відсутні результати комплексних теоретичних досліджень цього процесу, в цих умовах завдання дослідження та розроблення адекватних моделей стружкоутворення, силової взаємодії, тертя, теплоти та зношування інструменту в процесі Power skiving є актуальним.

Для 3D моделювання недеформованого зрізуваного шару використано методичку, яка передбачає представлення кінематики сукупністю дискретних взаємопов'язаних рухів, які надають інструменту і заготовці, реалізовану раніше для черв'ячного зубофрезерування, Результати моделювання показали наступне.

1. В діапазоні застосовуваних подач товщина перерізу зрізу є дуже малою. Це означає, що для здійснення різання радіус заокруглення лез зубців різця має бути меншим від товщини зрізу, інакше буде мати місце процес зминання припуску, а не його зрізання. На рис.3 наведено максимально допустимі величини радіусу округлення лез для подачі 0,5 мм/об.заготовки і кількості зубців чашкового різця 40 при зміні модуля в межах 1 – 5 мм та кількості зубців колеса від 25 до 100.

2. Дійсні (кінематичні) кути на лезах змінюються наступно: на вхідному лезі передній кут стає від'ємним, а задній - додатнім, На вихідному лезі має місце протилежна зміна: істотний додатній передній кут та від'ємний задній кут різального клина. З цього випливає, що сила стружкоутворення і тертя на активній частині передньої поверхні вхідного леза значно перевищує ці сили на вихідному лезі, при цьому неперервно змінюється довжина активних частин обох лез і напрямок результуючої сили стружкоутворення. На вихідному лезі сила стружкоутворення менша внаслідок позитивного кінематичного переднього кута, проте суттєво зростає тертя по задній поверхні, що збільшує силу різання після початку зношування цього леза.

3. При малій товщині зрізу збільшується інтенсивність пластичного деформування зрізуваного шару і величина коефіцієнта осадження стружки, тому незважаючи на малі значення площі поперечного перерізу стружки, внаслідок малої глибини різання і товщини стружки, сили різання будуть значні.

4. Найбільш несприятливі умови перебігу процесу різання присутні на вершинах лез, де перетинаються стружки з вершинного і бокових лез та виникає невідне різання і підвищене тертя на передній поверхні. На передній поверхні на вхідних лезах вектор тертя співпадає з вектором швидкості різання, а на вихідних лезах ці вектори скеровані протилежно, що збільшує тертя біля вихідних лез.

5. В процесі Hard scudding різання є багатопрохідним внаслідок оброблення загартованих поверхонь, з великою поверхневою твердістю. В таких умовах глибина різання зрізу і товщина зрізуваного шару повинні бути ще меншими. При збільшенні твердості зубців різача, необхідної для різання поверхонь високої твердості зростає ступінь їх крихкості. Внаслідок підвищених вимог до гостроти лез і малих радіусів їх округлення, разом необхідністю забезпечення їх підвищеної твердості, міцність різального клина лез виявляється обмеженою. Вказані умови різання, приймаючи до уваги велику швидкість різання, є причиною обмеженої стійкості чашкових різців в методі Power skiving та Hard scudding.

Моделювання цих процесів за вказаною методикою та аналіз отриманих результатів дають змогу оптимізувати будову чашкових різців та геометрію їх зубців, призначити необхідну твердість інструменту, а також встановити оптимальні режими різання.

ПРОБЛЕМИ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНИХ ДРІБНОРОЗМІРНИХ РІЗЬБ В ВАЖКООБРОБНИХ МАТЕРІАЛАХ

Джемалядінов Р.М., викладач

Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова

Однією з відповідальних операцій лезової обробки є нарізування внутрішньої різьблення, так як найчастіше вона є заключною при обробці корпусних деталей, тому поломка інструменту може призвести до невиправного браку виробу через високу вартість і трудомісткість операцій електроерозійного випалювання поламаного інструменту і відновлення різбового інструменту. Дана проблема яано проявляється при нарізанні дрібнорозмірних внутрішніх різьблень (діаметром до 2 мм) у нержавіючих сталях та титанових сплавах через високу в'язкість даних матеріалів. Тому підвищення працездатності дрібнорозмірних ріжучих мітчиків є актуальним завданням.

На основі аналізу літературних даних найчастіше ця проблема вирішується вибором необхідної геометрії інструменту [1], проте на практиці це знаходить своє відображення тільки при нарізанні даних різьб вручну. Спроба механізації процесу призводить до нестабільних результатів та частого виходу з експлуатації інструменту. Крім того, внесок пружно-пластичних деформацій в зоні різання при малих величинах шару, що зрізається, різко зростає, що говорить про

необхідність забезпечення необхідного кута загострення β . На таких малих діаметрах можливість заточування даного кута залежатиме від величини зерен карбідів в інструментальному матеріалі. На сучасному етапі розвитку виробництва виготовлення дрібнорозмірних інструментів зі складною геометрією можливе не тільки з швидкорізальних сталей, але і різних марок твердих сплавів. Тому підбір інструментального матеріалу має здійснюватися з урахуванням умов обробки.

Параметром зносу мітчиків часто приймають дворазове збільшення обертаючого моменту [2]. Зниження обертаючого моменту можна забезпечити за рахунок застосування раціональних складів СОТС. Проте до сьогодні немає практичних рекомендацій які враховують конкретні умови обробки.

На даному етапі були проведені експерименти на базі АТ «Завод «Фіолент», при нарізанні метричних різьб М1,6 та М2 мітчиками Sandvik coromant у корпусних деталях з нержавіючих сталей 36КНМ та 14Х17Н2 та титановому сплаві ВТ1-0 з подачею в зону рослинних олій. Результати показали збільшення стійкості мітчиків у середньому у 16 разів.

Література:

1. Евстигнєєва, О. Н. Підвищення надійності роботи мітчиків при нарізанні різьблення в глухих отворах конструкційно-технологічними методами: дис. ... канд. тих. наук: захищена 2003 / О.Н. Евстигнєєва. - Москва, 2003. - 136 с.

2. Ягодкін, М. В. В Підвищення продуктивності і надійності процесу нарізання різьб у отворах малого діаметра: дис. ... канд. тих. наук: захищена 2020 / М.В. Ягодкін. - Москва, 2020. - 121 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОТС НА ПРОЦЕСИ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ЗАГОТОВКОЮ ПРИ СВЕРДЛІННІ

Джемілов Є.Ш., к.т.н., доцент, ¹Бекіров Є.Л., викладач

Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова

Отримання отворів у суцільному матеріалі з високими параметрами точності та якістю поверхні є складним процесом механічної обробки. На машинобудівних підприємствах найбільш поширеним методом отримання отворів є свердління, де як інструмент використовують спіральне свердло.

Процес різання супроводжується пружними та пластичними деформаціями, руйнуванням матеріалу, тертям, зносом ріжучого інструменту, вібраціями технологічної системи в цілому.

На якість обробленої поверхні при свердлінні значний вплив мають мастильно-охолодні технологічні засоби (СОТС), механізм дії яких на процес різання маловивчений. У зв'язку з цим експерименти спрямовані на дослідження впливу різних СОТС на контактні процеси, у тому числі рослинної природи, що

подаються в зону різання застосуванням техніки мінімального мастила (ТМС) [1, 2] і внутрішньою подачею.

Дослідження закономірностей цих явищ дозволяє вибрати оптимальні умови, що забезпечують якісну обробку деталей.

З урахуванням аналізу існуючих вимірювальних установок та методики дослідження механіки взаємодії інструменту з деталлю у процесі свердління отворів нами розроблено методику вимірювання контактних навантажень на робочій поверхні свердла при його взаємодії з оброблюваною заготовкою.

Особливість запропонованої методики полягає у визначенні значень контактних навантажень, температури, складових сил різання та моменту, що крутить, за один прохід.

В експериментальній установці як обладнання застосовується радіально-свердлильний верстат мод. 2К522. Для визначення контактних навантажень використовуються тензорезистори 2ФКПА-5-100В. Температура у зоні різання вимірюється штучною термопарою «хромель-алюмель». Параметри сил різання і моменту, що крутить, реєструється трикомпонентним динамометром МЗО-3-6К.

Для реєстрації, візуалізації та обробки одночасно отриманих сигналів використовується програмне забезпечення (ПЗ) «PowerGraph».

Література:

1. Алієв, А. І. Підвищення працездатності складнопрофільного ріжучого інструменту за рахунок застосування технологічних середовищ рослинного походження: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 : захищена 2011 / А. І. Алієв. - Сімферополь, 2011. - 139 с.

2. Якубов, Ч. Ф. Вплив рослинних олій на характеристики процесу різання / Ч. Ф. Якубов – Харків: ХДПУ. - 2001. - Вип. 60. - 3 262 - 265.

УДК 620.179.17:539.3/4

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ДОКРИТИЧНОГО РОСТУ ВОДНЕВО-МЕХАНІЧНИХ ТРІЩИН В ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЙ РЕАКТОРА

Добровольська Л.Н., к.т.н., професор, Собчук Д.С., к.т.н., доцент
Луцький НТУ

Проблемі водневого окрихчення металевих сплавів присвячено багато досліджень. Опубліковано десятки монографій, в яких розглядають окрихчування з різних наукових позицій. Однак ця проблема ще не отримала прийнятної для інженерної практики рішення. Відомі [1] розрахункові моделі росту водневої тріщини в металах і сплавах представлені, як правило, системою важко реалізованих рівнянь, вимагають додаткових мікро структурних досліджень властивостей матеріалу і тому викликають труднощі для використання їх у широкій інженерній практиці.

Формування кількісної теорії водневого окрихчення металів додатково ускладнене труднощами достовірного визначення фактичних параметрів взаємодії водню з деформуючим металом (локальна концентрація водню в області зародження руйнування, тиску водню у мікропорожнинах і інші). Тим не менше створення основ кількісної (аналітичної) теорії водневого окрихчення є важливою та інтенсивно розвиваючою (особливо за останній час) частиною розробок цієї складної проблеми.

Проведені на даний час дослідження [1-3] довговічності елементів конструкцій з тріщинами за дії водню і довготривалих статичних навантажень в переважній більшості відносяться до випадків, коли залишкову довговічність таких елементів знаходять з допомогою кінетичних діаграм поширення воднево-механічних тріщин (швидкість \sim коефіцієнт інтенсивності напружень). Побудова таких діаграм пов'язана з великими часовими періодами дослідів, а побудова першої її ділянки взагалі практично затруднена. Тому в даній роботі пропонується інший підхід. Це пов'язане з наступним.

Поширення воднево-механічних тріщин реалізується шляхом утворення або об'єднання дефектів (вакансій, дислокацій, пор, мікротріщин, макротріщин і т.д.), при якому проходить виділення пружних хвиль. Тому найбільш ефективним методом діагностування такого сповільненого руйнування елементів конструкцій за довготривалого статичного навантаження і дії водню є метод акустичної емісії [2]. Аналіз доломів зразків підтвердив гіпотезу про те, що методика визначення старту макротріщини за якісною зміною САЕ на акустограмі, тобто за моментом різкого зростання їх амплітуд, відповідає справжньому моменту старту макротріщини. Для встановлення їх кількісних показників проведено аналіз САЕ, що генерувалися у цей момент, а також на різних ділянках діаграми руйнування. [4].

Для виявлення сповільненого руйнування елементів конструкцій метод акустичної емісії застосовується давно [2,3], але це була тільки якісна діагностика такого процесу, його початку і, взагалі, його наявності. Для його кількісної оцінки необхідно встановити залежності параметрів акустичної емісії від параметрів сповільненого руйнування матеріалу.

В даній роботі зроблена спроба побудови таких залежностей для випадку поширення воднево-механічних тріщин в конструкційних матеріалах реактора і на цій основі реалізація кількісної діагностики такого процесу за параметрами акустичної емісії, які можуть бути встановлені з допомогою існуючих методик [5].

Література:

1. Андрейків О.Є., Гембара О.В. Механіка руйнування та довговічність металевих матеріалів у водневмісних середовищах. – К.: Наук. Думка, 2007. – 345 с.
2. Panasyuk V.V., Andreykiv O.Ye., Darchuk O.I. and Kuznyak N.V. Influence of hydrogen-containing environments on fatigue crack extension resistance of metals. Handbook of Fracture Crack Propagation in Metallic Structures. – Amsterdam: Elsevier, 1994. – 2. – P. 1205-1242.

3. Андрейків О.Є. Довговічність металевих матеріалів у водневмісних середовищах. Прогресивні матеріали і технології. К.: НАН України, 2003. 2. С. 423-439.

4. Добровольська Л.Н. Акустико-емісійна оцінка статичної тріщиностійкості матеріалів реакторів атомних електростанцій.- Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й Международной научно-технической конференции, 03– 07 мая 2013 г., г. Ялта.– Киев: АТМ України, 2013.– 324 с.

5. Скальський В.Р., Андрейків О.Є. Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії. – Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2006. – 330 с.

УДК 620.191.33:620.193

ДІАГНОСТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ КОРПУСІВ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ

Добровольська Л.Н., к.т.н., професор, Собчук Д.С., к.т.н., доцент
Луцький НТУ

Матеріалом корпусу реактора є корпусна сталь 15Х2МФА. Ця сталь забезпечує проектний флюенс у межах $(2-2,4) \times 10^{20}$ н/см². З часом все актуальнішою постає проблема забезпечення безаварійної експлуатації АЕС, особливо з урахуванням деградації вказаних марок сталі. Для визначення ресурсу (залишкового ресурсу) металевих елементів конструкцій за довготривалого статичного навантаження і дії корозійних середовищ необхідно мати відповідні розрахункові моделі. Більшість із відомих таких розрахункових моделей побудовані на основі опису тільки конкретних експериментальних даних. На основі цих теорій можна визначати ресурс (залишковий ресурс) тільки деяких елементів конструкцій із тих матеріалів, на експериментальних даних яких вони побудовані.

Для дослідження зародження та розвитку втомних тріщин у призматичних зразках прямокутного чи квадратного поперечного перерізів ми використовували установку третього типу [1]. Сигнали АЕ аналізували за такими характеристиками: амплітуда, частотний спектр, час наростання переднього фронту імпульсу, тривалість події, коефіцієнт вейвлет-перетворення, швидкість рахунку тощо. Навантажували зразок зі швидкістю переміщення рухомого захопу 1 мм/хв. Налаштування АЕ – системи SKOP-8 були такими: кількість вимірювальних каналів – 2; тривалість виборки (мс) – 2; період дискретизації (мкс) – 0,5; фільтр низьких частот (кГц) – 600; фільтр високих частот (кГц) – 40; поріг дискретизації (%) – 28; рівень власних шумів (мкВ) – 7. Аналіз доломів зразків підтвердив гіпотезу про те, що методика визначення старту макротріщини за якісною зміною САЕ на акустограмі, тобто за моментом різкого зростання їх амплітуд, відповідає істинному моментові старту макротріщини. Враховуючи сказане, нами проведено аналіз САЕ у цей момент, а також на різних

ділянках діаграми руйнування з метою встановлення їх кількісних показників, що будуть закладені для вибору режимів роботи апаратних засобів. Як показали результати наших випробувань зразків корпусних сталей реакторів АЕС усіх 3-х груп, сигнали АЕ появлялися за навантажень, які набагато нижчі від навантаження P_0 , за яким визначають момент старту макротріщин у випадку квазікрихкого руйнування за виконання умов автотривалості [2-4].

За результатами проведених випробувань отримано амплітудні показники сигналів АЕ, за мінімальними значеннями яких можна забезпечити необхідну чутливість вимірювального тракту АЕ. Це дає підстави для створення необхідних прикладних методик АЕ-діагностування стану корпусів реакторів АЕС.

Література:

1. Установка для дослідження втомного руйнування методом акустичної емісії / В. Р. Скальський, Я. Д. Толопко, П. П. Великий та ін. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів: зб. наук. праць. – Вип. 14: Неруйнівний контроль матеріалів і конструкцій. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2009. – С. 43–49.

2. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. Введ. в действие 27.03.1985 г. – М.: Изд-во стандартов. – 1985. – 60 с.

3. Mirabile M. Acoustic emission energy and mechanisms of plastic deformation and fracture / M. Mirabile // Non-Destructive Testing – 1975. – 8, № 2. – P. 77-85.

4. Malen K. Theoretical estimate of acoustic-emission stress amplitudes / K. Malen, L. A. Bolin // Physica Status Solidi (B) Basic Research. – 1974. – 61, №2. - P. 637-645

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТУРБОМАШИН ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ СЕРВІСІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Добротворський С.С., д.т.н., професор, Кононенко С.М., м.н.с.,

Басова Є.В., к.т.н., доцент, Добровольська Л.Г. к.т.н., доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Темпи розвитку сучасної авіаційної, аерокосмічної, енергетичної промисловості потребують безперервної роботи у напрямку інтенсифікації технологічних процесів виготовлення відповідальних деталей механізмів. Технологія виготовлення тонкостінних елементів турбомашин передбачає значні фінансові витрати, зменшення яких вбачається можливим за умов інтелектуально місткої підготовки виробництва. Серед вагоміших проблем виготовлення тонкостінних елементів є виникнення прогинів [1], деформацій та коливань в процесі їх оброблення, а нові шляхи вирішення таких проблем прямо пропорційно впливають на конкурентоспроможність технології виготовлення

механізмів в цілому. Крім того, досягнення та підтримка на певному рівні конкурентоспроможності продукції є одним із основних завдань сучасного виробництва. Це стає можливим при комплексному та системному підході, що охоплює всі аспекти діяльності підприємства. Тому з погляду Industry 4.0 можна стверджувати, що підсистема управління конкурентоспроможністю виробництв є однією з найважливіших підсистем управління сучасним комп'ютерно-інтегрованим підприємством. Одним із визначальних елементів такої підсистеми є підсистема управління витратами підприємства, функція якої полягає і у забезпеченні стабільності запланованого рівня конкурентоспроможності продукції, тобто її високої якості та точності виготовлення. Найбільш прогресивним напрямком реалізації цієї функції є розробка профілактичних заходів щодо попередження випуску неякісної продукції, що стало можливим із використанням сучасних цифрових сервісів та широкому застосуванню CAD/CAM/CAE систем [2].

Метою роботи була визначена необхідність розробки заходів щодо підвищення науково-технічного рівня підтримки та інтенсифікації технологічного процесу виготовлення тонкостінних елементів турбомашин.

Із аналізу сучасних джерел інформації було визначено, що сучасні рішення для автоматизації процесу виготовлення тонкостінних елементів машин у своїй більшості спрямовані на опрацювання параметрів для деталей з абсолютною жорсткістю. Тому актуальним питанням було визначено розроблення програмного рішення щодо забезпечення інтелектуального вибору параметрів виготовлення тонкостінних елементів турбомашин із урахуванням основних особливостей їх оброблення (рис. 1).

Спочатку було представлено рішення, яке реалізовувалося у вигляді веб-програми. Для розробки використовували мову програмування JavaScript, що пояснюється можливістю миттєвого доступу до програми з будь-якої платформи та відсутністю необхідності завантажувати інсталяційні файли тощо [2]. Серверна частина програми була розроблена на Node.js. Взаємодія між клієнтом та сервером базується на REST API. Передача даних здійснюється у форматі JSON. Введення та виведення програми зберігаються у базі даних після закінчення обчислень.

Необхідно зазначити, що поточне розроблене нами рішення складається з аналітичної реалізації в межах розрахункових блоків та підключення стороннього CAE середовища з можливістю виконання скриптів. Рішення є каркасом, необхідним для додавання і розширення кола виконуваних завдань. Відповідно, рішення вимагає подальшого розроблення та доопрацювань.

Таким чином малою міждисциплінарною командою на базі JavaMachCluster розроблено загальну архітектуру програмного рішення для вибору параметрів виготовлення тонкостінних елементів турбомашин, що у перспективі буде інтегровано у єдиний цифровий простір, який об'єднує в собі етапи цифровізації, інформатизації і пов'язаності завдань в рамках концепції Industry 4.0, яку ми називаємо Free digital space for I. 4.0 (FGS2I4.0).

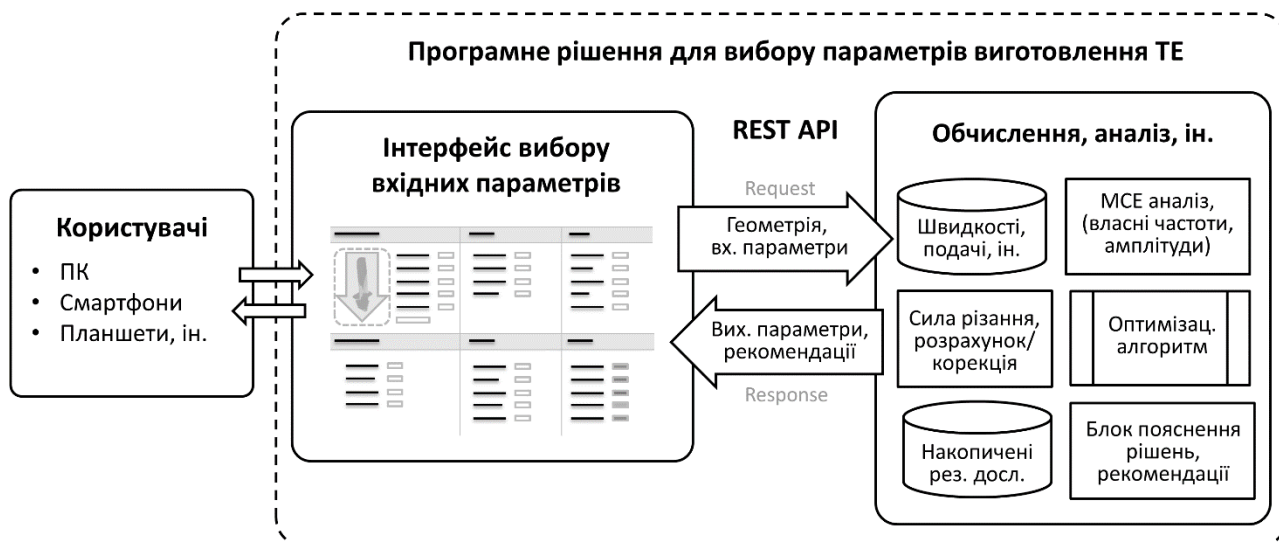


Рис.1. Загальна архітектура програмного рішення для вибору параметрів фрезерування тонкостінних елементів турбомашин

Література:

1. Kononenko, S., Dobrotvorskiy, S., Basova, Y., Gasanov, M., Dobrovolska, L. Deflections and Frequency Analysis in the Milling of Thin-walled Parts with Variable Low Stiffness [Text]. Acta Polytechnica. 59, pp. 283–291 (2019). <https://doi.org/10.14311/ap.2019.59.0283>.

2. Dobrotvorskiy, S., Kononenko, S., Basova, Y., Dobrovolska, L., Edl, M. Development of Optimum Thin-Walled Parts Milling Parameters Calculation Technique. 4th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE 2021, Lviv, Ukraine, Vol.2021, pp. 343-352. (2021) doi: 10.1007/978-3-030-77719-7_34

ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ЛЕЗВІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ ШВІВ

Olha Dvirna, Dr, Inż.

Uniwersytet Morski w Gdyni, Polska

На промислових підприємствах найпоширенішим способом чистової обробки зварних швів є шліфування абразивним інструментом різної форми та конструкції при використанні різних видів абразивного матеріалу.

Відомими є способи шліфування плоских поверхонь за допомогою обертового шліфувального круга, або за допомогою декількох абразивних кругів з різною зернистістю. Зазначений спосіб обробки зварних швів дозволяє виконувати одним інструментом і чорнове, і чистове шліфування, однак призводить до формування різноманітних дефектів на оброблюваній поверхні.

Утворюються ділянки локального відпуску або вторинного гартування, які утворюють в поверхневому шарі структурні карбіди. В цих місцях відбувається

концентрація залишкових напружень (розтягувальних). Ці недоліки призводять до формування та розвитку тріщин звичайних та втоми, а також різних дефектів та ушкоджень поверхневого шару. Під час експлуатації такого зварного з'єднання знижується втомна міцність зварного шва, що може призвести до пошкодження зварних конструкцій.

Крім того, шліфування - процес, який зазвичай вимагає ручної праці, яка значно збільшує час обробки та унеможлиблює його автоматизацію. Також вказаний процес шкідливий для людини та навколишнього середовища, він вимагає застосування додаткових засобів захисту.

Таким чином, створення способу обробки зварних швів за допомогою ріжучого інструменту, завдяки якому можливо виконувати чорнову та чистову обробку зварних швів за один прохід інструментом та на різних за формою та способом отримання зварних швах, забезпечити точність та якість оброблювальної поверхні з можливістю автоматизування процесу обробки зварних швів є актуальною науковою задачею. Крім того, важливою задачею є зробити можливим виконання операцій обробки зварних швів більш безпечними та зменшити шкідливий вплив на оператора, що виконує обробку та на навколишнє середовище.

В статті представлено новий спосіб обробки зварних швів за допомогою спеціального інструменту для обробки зварних швів, у якому при переміщенні ріжучого інструменту вздовж зварного шва припуск на обробку видаляється за один прохід ріжучого інструменту, який виконаний у вигляді сталевого стрижня з прямокутним перерізом, робоча поверхня якого містить зубці та стружкові канавки, висота зубців змінюється у напрямку головного руху, передостанній та останній зубці мають однакову висоту, при цьому різниця висот першого і останнього зубця дорівнює висоті зварного шва, довжина зубця дорівнює, щонайменше, половині відстані між сусідніми зубцями, а його ширина дорівнює максимальній ширині зварного шва.

Спосіб з використанням зазначеного інструменту характеризується швидким циклом обробки зварного шва і високою ефективністю. Такий процес обробки є безпечним і економічним, не вимагає застосування ручної праці, дає можливість обробляти кілька зварних швів нараз (безперервне різання), а також може бути повністю автоматизованим процесом.

Для перевірки доцільності застосування нового методу спроектовано ріжучий інструмент для обробки зварних швів та проведено ряд експериментів. З них виникає, що спосіб, який розкритий у статті, може бути використаний для обробки зварних сполучень, які виготовлені з більшості легованих та вуглецевих сталей та сплавів з твердістю до HRC 65. Перевагами інноваційного способу є: короткий час обробки, висока продуктивність, висока точність, низькі відхилення форми та положення, висока якість обробленої поверхні, можливість застосування при обробці зварних поверхонь, отриманих різноманітними методами зварювання, дозволяє здійснювати обробку складних зварних поверхонь різної форми та розмірів, різних марок сталі та сплавів, а також дозволяє автоматизувати процес обробки, підвищити його продуктивність та зменшити витрати часу і коштів на технологічний процес та охорону навколишнього середовища.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФІРУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПОКРИТТЯМИ

Зіньковський А.П., *д.т.н., професор*, Деркач О.Л., *к.т.н.*, Кобзар В.Л.,
аспірант

Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

В сучасному енергомашинобудуванні для виготовлення високонавантажених конструктивних елементів, таких як робочі лопатки та диски, широко використовуються високоміцні сплави, зокрема титанові. Однак їх особливістю є низькі значення дисипативних характеристик, які не забезпечують зниження вібронапруженості таких елементів в широкому діапазоні частот динамічних навантажень. Одним з ефективних засобів підвищення демпфівувальної здатності виготовлених з титанових сплавів конструктивних елементів є нанесення покриттів, які забезпечують конструкційний гістерезис таких об'єктів при їх циклічному деформуванні.

Мета роботи полягає у викладенні методологічних підходів до визначення демпфівувальної здатності конструктивних елементів машин за допомогою технологічної операції нанесення антивібраційних покриттів.

Для визначення демпфівувальної здатності об'єктів дослідження використана експериментальна установка, розроблена за ідеями академіка НАН України Г.С. Писаренка [1, 2]. Її основою є коливальна система, яка показана на рис. 1. Вона складається зі зразка 1 із досліджуваного матеріалу, який за допомогою клинів жорстко закріплюється в інерційних масах 2 з кронштейнами 3. Інерційні маси встановлюються у вузлах коливань зразка, що забезпечує його деформування в умовах чистого згину, і вільно підвішуються на довгих тонких сталевих струнах 6. Цим забезпечується низький рівень втрат енергії при коливаннях і, тим самим, підвищується точність отриманих результатів

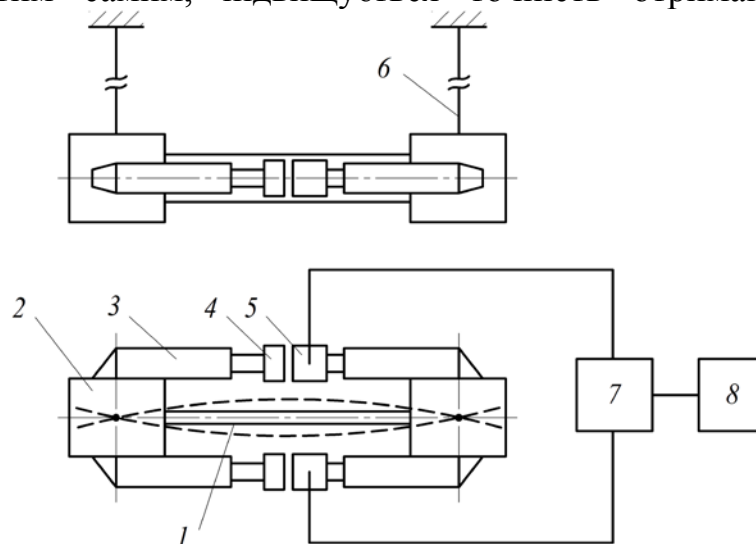


Рис.1. Блок-схема експериментальної установки для визначення демпфівувальної здатності стержневих конструктивних елементів при їх деформуванні в умовах чистого згину

досліджень. На кронштейнах 3 монтуються електромагніти 5 системи збудження резонансних згинних коливань зразка. Електромагніти, які за рахунок взаємодії з жорстко закріпленими елементами 4 (дисками із феромагнітного матеріалу), навантажують коливальну систему згинальними моментами, поперемінно вмикаючись синфазно до кожного періоду коливань системи, викликаючи її резонансні коливання. Таким чином в горизонтальній площині виникають циклічні, протилежні за напрямком крутильні моменти відносно осей інерційних мас (вузлів коливань), які викликають чистий згин зразка. Після досягнення амплітуди резонансних коливань зразка до заданого рівня (до границі витривалості) система їх збудження відключається, відбувається запис віброграми затухаючих коливань і їх автоматизована обробка.

Згідно з постановкою задачі здійснена модернізація установки, яка полягала в розробці системи 8 автоматизації проведення випробувань та реєстрації характеристик коливань зразка. Розроблена система дозволяє реєструвати до 10 тисяч значень амплітуд переміщень і отримувати залежність декременту від амплітуд згинальних напружень за один процес затухання коливань. Живлення електромагнітів здійснюється імпульсами електричного струму з використанням відповідної схеми керування 7. Для її розробки був використаний мікроконтролер STM32F103C8T6 з інтегрованим швидкісним аналого-цифровим перетворювачем розрядністю 12 біт. Зв'язок мікроконтролера з ПК забезпечується за інтерфейсом UART. Реєстрація лінійних переміщень проведено оптичним способом. Він був реалізований з використанням фотоелемента та джерела світла, які розміщено на кронштейнах 3. Установка дозволяє визначити дисипативні властивості широкого кола конструкційних матеріалів, у тому числі матеріалів з вібропоглинаючими покриттями, в залежності від амплітуди циклічних деформацій (або напружень) при температурах від -60°C до $+600^{\circ}\text{C}$ за затухаючими згинними коливаннями призматичних зразків, які знаходяться в умовах чистого згину.

Для визначення амплітудної залежності декременту коливань $\delta(a)$, як характеристики демпфірувальної здатності об'єкта дослідження, методом вільних затухаючих коливань їх віброграма (рис. 2) розбивається на $N \geq 10$ інтервалів, кожен з яких характеризується числом циклів коливань n_i ($i = 1, 2, \dots, N$), що залежить від інтенсивності згасання амплітуд. Середнє значення декременту на i -му інтервалі визначається за формулою:

$$\delta_i(a_{\text{icp}}) = \frac{1}{n_i} \ln \frac{a_i}{a_{i+n_i}}. \quad (1)$$

де a_i і a_{i+n_i} – амплітуди коливань i -го і $(i + n_i)$ -го циклів загасаючих коливань.

За допомогою аналого-цифрового перетворювача, ПК і розробленої програми була створена автоматизована система визначення логарифмічного декременту за формулою (1). З метою зменшення похибки його визначення в автоматизованому режимі проводилась задана кількість вимірювань.

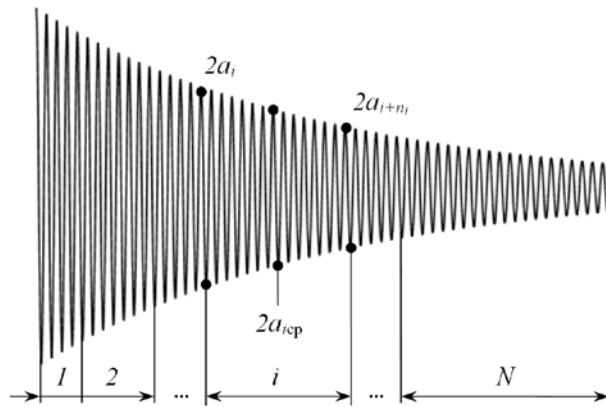


Рис.2. Приклад віброграми вільних затухаючих коливань зразка

Як приклад реалізації методики експериментально-розрахункового визначення демпфівальної здатності конструктивних елементів з покриттями в якості об'єкта дослідження було обрано стержневий зразок постійного поперечного перерізу з розмірами 20×4 мм, виготовлений з титанового сплаву ВТЗ-1. На робочу частину зразка з обох сторін методом вакуумного осадження наносились покриття з міді товщиною від 5 мкм до 200 мкм. Вибір такого матеріалу покриття пояснюється його високими дисипативними властивостями. Покриття різної товщини одержували варіюванням часу осадження. Для забезпечення жаростійкості та хімічної стійкості демпфуючого покриття зразків на них був нанесений захисний шар нікелю товщиною до 10 мкм.

За результатами виконаних досліджень встановлено закономірності впливу товщини покриття на дисипативні властивості зразків та характер залежності декременту коливань від амплітуд напружень. Спочатку було проведено порівняння одержаних експериментальних даних з результатами визначення дисипативних властивостей титанових зразків без покриття та показана їх добра узгодженість з відомими залежностями [3]. Вимірювання декременту коливань зразків за умов чистого згину з покриттям та без проводилась у діапазоні амплітуд напружень від 10 МПа до 70 МПа. Встановлено, що оптимальна товщина покриття для зразків за умов чистого згину знаходиться у діапазоні від 50 мкм до 150 мкм. Мінімальна товщина покриття визначається необхідною демпфуючою здатністю, а максимальна – обмежена міцністю зчеплення.

Література:

1. Матвеев В.В. Демпфирование колебаний деформируемых тел. Киев: Наук. думка, 1985. 264 с.
2. Яковлев А.П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем. Киев: Наук. думка, 1985. 248 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов: Справочник. Киев: Наук. думка, 1971. 375 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Карабут В.М., ст. викладач

Національна металургійна академія України

Постановка проблеми:

Процес розробки технологічних процесів (ТП) виготовлення деталей складається з наступних етапів: аналізу креслення деталі і її технологічності; вибору методу отримання заготовки; креслення заготовки; формуванню маршруту виготовлення деталі; формуванню операцій виготовлення деталі; вибору технологічних і вимірювальних баз; визначення припусків, операційних розмірів і допусків на операції; вибору устаткування на операції технологічного процесу; вибору пристроїв на операції технологічного процесу; вибору різальних інструментів на операції технологічного процесу; вибору вимірювальних інструментів на операції технологічного процесу; визначення режимів обробки і норми часу на операції; оформленню технологічних карт [1].

На процес розробки ТП виготовлення деталей витрачається багато часу.

Мета роботи:

Для зменшення часу на процес розробки ТП виготовлення деталей використовуємо комп'ютерну програму СПРУТ-ТП [2].

У ознайомчій версії комп'ютерної програми СПРУТ-ТП [2] змодельований процес розробки ТП виготовлення деталі у діалоговому режимі, який складається з наступних етапів: вибору матеріалу деталі, вибору методу отримання заготовки; формуванню маршруту виготовлення деталі; формуванню операцій виготовлення деталі; вибору устаткування на операції технологічного процесу; вибору пристроїв на операції технологічного процесу; вибору ріжучих інструментів на операції технологічного процесу; розрахунку режимів обробки і нормуванням операцій, а також з оформленню бланків технологічної документації та виведенням їх на друк.

Висновки:

Програма СПРУТ-ТП призначена для автоматизації процесу розробки ТП виготовлення деталі, включаючи формування технічної документації: від конструкторської специфікації до виробничих документів.

Використання програми СПРУТ-ТП дозволяє значно зменшити час на процес розробки ТП виготовлення деталі та швидко сформувати комплект технологічної документації.

Література:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, 1985. – 496с.
2. СПРУТ-ТП автоматизированное проектирование и нормирование технологических процессов – Website [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://sprut.ru/products-and-solutions/products/sprut-tp>.

СЕМАНТИЧНА МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВ: СЕРЕДИННИЙ ВИПАДОК

¹Кирилович В.А., *д.т.н., професор*, ¹Шубенко Р.В., *магістр*,

¹Білоцький А.Д., *магістр*, ²Дімітров Л.В., *д.т.н., професор*,

¹Мельничук П.П., *д.т.н., професор*

¹Державний університет “Житомирська політехніка”, м. Житомир, Україна

²Технічний університет-Софія, м. Софія, Республіка Болгарія

E-mail: kiril_va@yahoo.com

Для розв’язування багатьох задач багатокритеріальної дискретної оптимізації, для яких де-юре та де-факто точне рішення є невідомим, авторами запропонована методика нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА): серединний випадок (СВ).

Особливість оптимізації як обов’язкової процесуальної складової нечіткого вибору в контексті розв’язування при цьому задач полягає в упорядкуванні компонентів початково неупорядкованої дискретної множини локальних критеріїв (ДМЛК) ${}^kS_{(j)}$ (дужки $()$) в кінцеву упорядковану ${}^kS_{\langle j \rangle}$ (дужки $\langle \rangle$) реалізацією кінцевої множини обчислень ${}^k\varphi$. Вказане виконується за рахунок обчислення розроблених спеціальних відношень, що засновані на відповідних порівняннях із кожним із так званих серединних параметрів. Вид кожного з цих параметрів k (*kind*) є наступний: середньоарифметичний (A – вище, тут та далі ліві верхні індекси у відповідних позначеннях), медіанний (M), середньоквадратичний (S) та середньогеометичний (G), тобто $k \in (A, M, S, G)$.

Вказане визначило назву та символіку позначень фактично розроблених чотирьох одноіменних методик серединного випадку: *Middle Method Solution* – ${}^M MMS$, ${}^A MMS$, ${}^S MMS$ та ${}^G MMS$ та відповідно визначило множину їх розв’язків: ${}^M S_{\langle j \rangle}$, ${}^A S_{\langle j \rangle}$, ${}^S S_{\langle j \rangle}$ та ${}^G S_{\langle j \rangle}$.

Вихідними даними для функціонування розроблених методик є результати попередньо проведеного строгого експертного ранжування локальних критеріїв із їх ДМЛК для розв’язування задач будь-якого змісту та розмірності, але які можуть бути зведені до задач НБВА.

Взаємно-однозначною відповідністю розроблених методик НБВА: СВ є їх математичне подання єдиною семантичною моделлю (СМ). Остання представлена у вигляді орієнтованого зваженого графа $({}^kV, {}^k\varphi)$, де

$${}^kV = (E_{(i)} \times S_{(j)}) \xrightarrow{{}^k\varphi} (M_c, M_w, {}^kM_\alpha, {}^kM_{Ew}, {}^kM_{Ew^a}, {}^kS_{(j)max}, {}^kS_{\langle j \rangle});$$

${}^k\varphi$ – множина орієнтованих зважених ребер, стрілки під позначенням яких (див. нижче) вказують напрямок та послідовність виконання кінцевої множини обчислень ${}^k\varphi = ({}^k\varphi_f | f = \overline{1, n_f})$ загальною кількістю n_f : ${}^k\varphi = (\varphi_c, \varphi_w, {}^k\varphi_\alpha, {}^k\varphi_{Ew}, {}^k\varphi_{Ew^a}, {}^k\varphi_{(j)max}, {}^k\varphi_{\langle \rangle})$. Тому розроблена СМ має вид:

$$\begin{aligned} (E \times S_{(j)}) &\xrightarrow{\varphi_c} M_c \xrightarrow{\varphi_w} M_w \xrightarrow{k\varphi_\alpha} {}^k M_\alpha \xrightarrow{k\varphi_{E^w}} {}^k M_{E^w} \xrightarrow{k\varphi_{E^w a}} {}^k M_{E^w a} \xrightarrow{k\varphi_{(j)max}} {}^k S_{(j)max} \\ &\xrightarrow{k\varphi_{<j>}} {}^k S_{<j>} \mid \forall k \in (A, M, S, G). \end{aligned}$$

Тут: $(E \times S_{(j)})$ – декартовий добуток множини із n експертів (альтернатив) $E = (E_i \mid i = \overline{1, n})$ та неупорядкованої множини із m локальних критеріїв $S_{(j)} = (S_j \mid j = \overline{1, m})$, що $i \in$ ДМЛК; φ_c – формування (обчислення) матриці M_c кінцевих результатів попередньо проведеного строгого експертного ранжування елементів ДМЛК, її елементами є цілі додатні числа, значення та важливість кожного із яких визначені умовами ранжування (наприклад, найвищий ранг (найбільше число) означає найкращий параметр, найменший – найгірший або навпаки); φ_w – визначення елементів матриці M_w як ваг альтернатив через відношення рангів всіх E_i -их альтернатив до рангу середньої альтернативи; ${}^k\varphi_\alpha$ – формування елементів матриці ${}^k M_\alpha$ як нечіткої множини з врахуванням важливості кожного S_j -го критерію через його вагу α_j на множині альтернатив E ; ${}^k\varphi_{E^w}$ – визначення важливості суджень кожного експерта із множини E через визначення ваг альтернатив відносно кожного j -го критерію S_j ; ${}^k\varphi_{E^w a}$ – розрахунок важливості альтернатив (кожного E_i -го експерта) через вагу ${}_E\alpha$ кожного із них на множині критеріїв $S_{(j)}$ з формуванням елементів матриці ${}^k M_{E^w a}$ як нечіткої множини; $\varphi_{(j)max}$ – формування множини нечітких максимальних оцінок для кожного локального критерія $S_{(j)max}$, тобто формування неупорядкованої множини функцій приналежностей на множині їх максимальних значень; ${}^k\varphi_{<j>}$ – упорядкування як таке неупорядкованої множини ${}^k S_{(j)max}$ в упорядковану ${}^k S_{<j>}$ розв’язуванням *maxmax*-ої задачі. Останнє є розв’язком задачі НБВА: СВ, що виконано на основі запропонованої СМ.

Розроблена СМ НБВА: СВ реалізована програмно, де тільки обчислення φ_c реалізується користувачем, а інші обчислення, тобто $\varphi_w, {}^k\varphi_\alpha, {}^k\varphi_{E^w}, {}^k\varphi_{E^w a}, {}^k S_{(j)max}, {}^k\varphi_{<j>}$, реалізуються програмно. При цьому φ_c та φ_w , що формують відповідні матриці M_c та M_w , є однаковими за змістом незалежно від обраного серединного параметра або їх довільної множини.

Функціональність розробленої СМ НБВА: СВ продемонстрована прикладами розв’язування різнорозмірних задач НБВА:СВ різногалузевого змісту, а саме: автоматизованого вибору роботизованих механоскладальних технологій ($n=10, m=12$), автоматизованого упорядкування параметрів розробки ІТ-продуктів ($n=18, m=9$) та при розв’язуванні задачі “Ідеальний викладач очима студентів” ($n=10, m=14$).

Отримані результати підтвердили працездатність як розробленої СМ, так і її автоматизованої реалізації, а також її інваріантність щодо розв’язування різнорозмірних та різногалузевих задач НБВА на кінцевій множині розрахованих серединних параметрів.

ВПЛИВ УМОВ РІЗАННЯ НА ЗНОШЕННЯ І ДЕФОРМАЦІЮ РІЖУЧОГО ЛЕЗА ПРИ ОБРОБЦІ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

**Ковальов В.Д., д.т.н., професор, Клименко Г.П., д.т.н., професор,
Васильченко Я.В., д.т.н., професор, Шаповалов М.В., к.т.н., доцент,
Антоненко Я.С., к.т.н., доцент**

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Токарна обробка великогабаритних деталей (наприклад, прокатних валків) характеризується поєднанням суперечливих вимог: підвищенням продуктивності та забезпеченням точності та якості оброблених поверхонь. Забезпеченню регламентованого биття обробленої поверхні перешкоджають великі сили різання, що змінюються, а також дуже інтенсивне зношування різців у процесі різання, яке на порядок перевищує інтенсивності зношування для більш легких умов різання. Проблема досягнення необхідних характеристик точності ускладнюється у зв'язку з великими подачами і глибинами різання, а також з тенденцією підвищення твердості заготовок.

Необхідному (приблизно в 2 - 3 рази) зниженню інтенсивності зношування різального леза перешкоджає відсутність теоретичних методів узагальнення впливу умов різання на зношування та деформації різального леза, а також на сили різання.

Робота присвячена вивченню впливу умов різання на характеристики зношування та зносостійкості ріжучого інструменту при чорновому точінні на важких верстатах.

Поряд із зносом задньої поверхні при токарній обробці з великими перерізами шару, що зрізається, спостерігалось і помітне опускання ріжучої кромки внаслідок пластичної деформації різального леза. Однак при точінні сталі 45 ці два параметри зношування були приблизно пропорційними один одному, а їхнє відношення залишалось приблизно постійним. На цій підставі в якості критерію зношування використовувалась ширина фаски по задній поверхні. Отримані експериментальні дані про зміну залежності ширини фаски зносу на задній поверхні від шляху різання, свідчать про істотні відмінності кривих зносу при важких умовах різання.

У цій роботі з метою врахування зміни ширини фаски зносу від шляху різання при точінні $h(L)$ та закону їх нелінійності шлях різання L^* (і, відповідно, стійкість T) визначалися шляхом інтегрування функції $f(h) = l/\delta L[\theta(h), \sigma(h)]$ по ширині фаски зносу h :

$$L^* = \int_0^T v d\tau = \int_{h_0}^{h^*} \frac{dh}{\delta_L[\theta(h), \sigma(h)]}$$

У зв'язку з цим завдання узагальнення впливу умов різання на характеристики зносостійкості інструменту (стійкість T , шлях різання L , площа обробленої поверхні F при заданому критерії затуплення h) зводиться до

узагальнення впливу умов різання та ширини фаски зносу на інтенсивність зношування ріжучого леза.

Показано, що більш підходящим для узагальнення впливу умов різання на інтенсивність зношування при приблизно однакових напругах в ріжучому лезі є температура формостійкості ріжучого леза, що узагальнює вплив максимальних температур передньої та задньої поверхонь і визначається за формулою:

$$\theta_{\phi} = \sqrt{\frac{(\theta_{n,max} - 400)^2 + (\theta_{z,max} - 400)^2}{2}} \cdot 1,41 + 400$$

Згідно з отриманими експериментальними даними середні дотичні напруги на передній поверхні при приблизно постійній температурі формостійкості недостатньо тісно пов'язані з інтенсивністю зношування. Більш підходящим для узагальнення впливу умов різання на інтенсивність зношування інструменту при постійній температурі формостійкості є відношення максимальних дотичних напруг, обчислених за силами на передній та задній поверхнях за методом Мічела, до межі міцності інструментального матеріалу на вигин:

$$\sigma_m = \frac{-0,57P_1 \sin^2 \beta}{bc(\beta - \sin \beta) \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \sigma_{\text{н}}^* K_2}$$

Обробка отриманих експериментальних даних показала, що при постійній фасці зносу h_3 (або при приблизно постійних напругах σ_m) між інтенсивністю зношування δ_L , температурою формостійкості θ_{ϕ} і напругами по Мічелу σ_m існує досить тісний зв'язок, який описується сукупністю увігнутих кривих $\delta_L(\theta_{\phi})$ з мінімумом. Встановлено також, що оскільки меншим значенням ширини фаски зношування відповідають великі напруги σ_m , зі зменшенням критерію затуплення h_3^* мінімальні інтенсивності зношування зростають. При цьому мінімуми інтенсивності зношування досягаються за більш високих температур формостійкості.

У зв'язку з цим залежність інтенсивності зношування від температури формостійкості θ_{ϕ} та напруги σ_m апроксимувалась функцією виду:

$$\frac{\delta(T'_{\phi}, \sigma_m) - \delta_0(\sigma_m)}{\delta_1 - \delta_0(\sigma_m)} = \left(\frac{T'_{\phi} - (0,6 + 0,1 * |\sigma_m|)}{0,25 - 0,1 * |\sigma_m|} \right)^2$$

Для порівняння розрахункових даних з експериментальними розраховувалися параметри зносостійкості інструменту (шлях різання, стійкість). Розбіжність розрахункових значень із експериментальними даними не перевищила 10%.

МУЛЬТИАГЕНТНА PLM-СИСТЕМА ДЛЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ

Копей В. Б., д.т.н., доцент, Вірстюк В. М., магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Вироби машинобудування не рідко основані на великій системі знань, яку можна розглядати як складну інформаційну систему. Відомо, що усі складні системи подібні загальносистемними закономірностями, до яких належить закономірність цілісності, закономірність історичності, закономірність ієрархічності та інші. Інформаційну систему підтримки життєвого циклу (ЖЦ) виробу (PLM-систему) слід розглядати як складну систему, яка володіє цими закономірностями. Розроблення таких систем повинно бути ґрунтоване на досягненнях сучасної теорії систем.

В практиці побудови програмних систем відомий мультиагентний підхід, який полягає в тому, що децентралізована система складається з великої кількості автономних агентів, що взаємодіють. Як правило мультиагентні системи володіють закономірностями цілісності, історичності та ієрархічності, які мають інші складні системи, зокрема, біологічні, соціальні, економічні та інші. Таким чином, мультиагентна PLM-система є ізоморфною до інших складних систем і може бути настільки ж ефективною. На жаль, під час розробки сучасних PLM-систем дуже мало наголошують на цьому.

В роботі на простому прикладі показано принципи розроблення, функціонування та використання такої системи для підтримки життєвого циклу спеціального різьбового з'єднання. Для побудови системи, яка може працювати на кластері, застосовували Python-пакет Ray та модель акторів. Мовою Python розроблено компоненти мультиагентної PLM-системи різьбових з'єднань: факти бази знань і правила логічного виведення, машину прямого логічного виведення, гнучкі FEA-модуль та САМ-модуль.

Факти бази знань можуть містити довільні знання про різьбові з'єднання у вигляді триплетів (суб'єкт, предикат, об'єкт). Наприклад («величина зазору 0,1 мм», «пов'язана з», «еквівалентним напруженням 11 МПа»). Правила логічного виведення за допомогою машинної логічного виведення можуть використовуватись для виведення нових знань з бази існуючих. Наприклад правило $(1, 2, 3) \rightarrow (3, 2, 1)$ та правило $(1, 2, 3) \& (3, 2, 4) \rightarrow (1, 2, 4)$.

FEA-модуль використовує пакет rascalix, який за допомогою Gmsh (вільний генератор скінченно-елементної сітки) та CalculiX (вільний скінченно-елементний розв'язувач) дозволяє створювати двовимірні моделі. Особливість rascalix – простота створення параметричних моделей та можливість легко автоматизувати розв'язування задач оптимізації конструкції. Тому розроблений модуль може бути використаний в якості агента PLM-системи, який отримує вхідні параметри моделі, повністю автономно розв'язує задачу і повертає результати.

САМ-модуль призначений для генерації G-коду для різьбофрезерування на трьохосьовому фрезерному верстаті з ЧПК. Можуть бути задані такі вхідні параметри як мінімальний радіус різьби, довжина, крок, кут конуса, довільний

профіль різьби. Модуль підтримує нарізування різьб на системах ЧПК, які не мають корекції радіуса інструмента та кругової інтерполяції. Використання модуля для різьбофрезерування зовнішньої спеціальної різьби на верстаті CNC 3018 Pro показало його ефективність.

На основі цих компонентів розроблено агенти (рис. 1) для: збереження фактів бази знань (Факт1, Факт2), правил логічного виведення (Правило1), машини логічного виведення (Машина виведення1), скінченно-елементного аналізу напружено-деформованого стану різьбового з'єднання (CAD+FEA1), генерації програмного G-коду для фрезерування різьби на верстаті з ЧПК (CAM1). Виведені факти можуть бути перевірені та оновлені на будь-якому етапі ЖЦ (рис. 1). Система може бути легко розширена іншими агентами, наприклад, для підтримки етапів виробництва (АСУ ТП1) і експлуатації (SCADA1) виробу. Факти, отримані в результаті експлуатації, можуть бути основою для наступного витка ЖЦ (рис. 1).

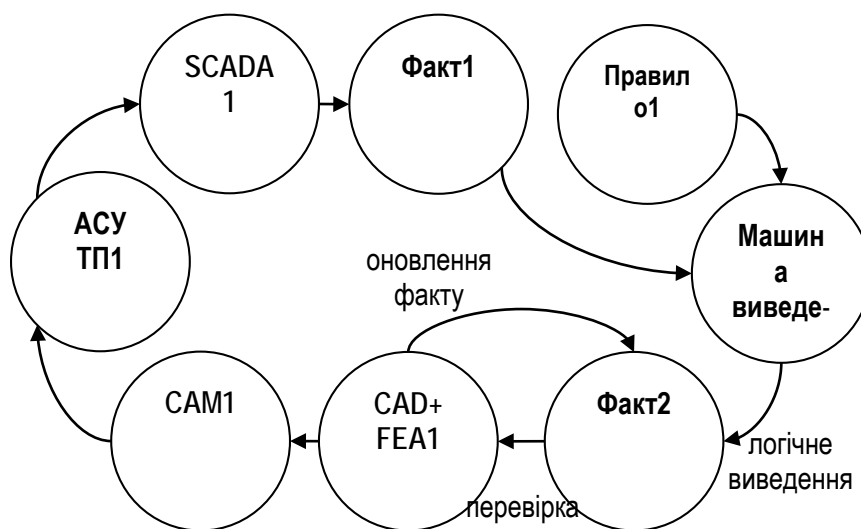


Рис.1. Приклад мультиагентної PLM-системи

Кожен агент працює автономно, отримує вхідні дані і повертає результати. Агент може повертати None, що означає відсутність нових результатів. Якщо усі агенти повертають None, то автоматична робота PLM-системи припиняється. Користувач може ввести нові дані, змінити модель або значення параметрів і запустити систему знову. Таким чином, на кожному кроці ітерації з'являються нові знання і система еволюціонує, як і сам виріб.

Розроблено приклад мультиагентної PLM-системи для спеціальних різьбових з'єднань пластмасових труб та показано приклад інтерактивної роботи з PLM-системою в середовищі Jupyter. Показано, що використання системи може значно зменшити витрати часу на проектування конструкції та технологічного процесу.

Детальніше з проектом можна ознайомитись на GitHub (<https://github.com/vkopey/ThreadsPLM-MAS->).

НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Корбут Є. В., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»

Проблема підвищення ефективності та якості обробки полімерних волокнистих композиційних матеріалів (ВПКМ) різанням у значній мірі пов'язана з пошуку шляхів забезпечення працездатності та надійності інструменту для їх обробки. ВПКМ мають комплекс властивостей та особливостей, які позитивно відрізняють їх від металів та їх сплавів, що відкриває широкі можливості для розробки нових конструкцій та технологій виробів різного призначення і удосконалення існуючих [1]. Але поряд з цим, їх фізико-механічні властивості викликають труднощі обробкою різанням, що накладає певні вимоги до використання різального інструменту (РІ). Перш за все вони повинні забезпечувати необхідну точність та якість обробленої поверхні деталей з ВПКМ, мати високий опір зношуванню [2]. Спрощення їх конструкцій, підвищення рівня технологічності виготовлення дозволить знизити собівартість інструменту і як наслідок, собівартість виробу з ВПКМ.

Встановлено, що на якість обробленої поверхні деталі з ВПКМ впливає сила різання та температура в зоні різання. Так, збільшення значення осьової сили різання та температури, що залежить від зносу інструменту призводить до міжшарових тріщин, розшарування, термічна деструкція, розлохмаченість, збільшення глибини пошкоджуваності поверхні отворів у шарі ВПКМ.

Аналіз літературних джерел показав, що абразивне зношування є переважаючим механізмом зношування інструменту при обробці ВПКМ.

Зниження зносу за рахунок оптимальних геометричних параметрів та конструкцій твердосплавних свердел (конструктивні способи) є найбільш поширеними. На даний момент ці способи в найбільшій мірі розроблені та досліджені.

У той же час підвищення працездатності інструменту за рахунок зміни фізико-механічних властивостей контактуючих поверхонь інструменту з використанням різних інструментальних матеріалів при свердлінні ВПКМ в достатній мірі не досліджені.

Аналіз властивостей та характеристик інструментальних матеріалів (високий опір абразивному зношуванню, низький коефіцієнт тертя, висока теплопровідність та теплостійкість) показав, що в найбільшій мірі вимогам відповідає полікристалічний алмаз. Проте через вартість і крихкість його використання обмежене.

Проведений аналіз існуючих рішень та методів підвищення працездатності інструменту показав, що одним із перспективних напрямків вирішення проблеми є схема дискретного нанесення покриття. Аналіз показав, що ефективність дискретного покриття при обробці ВПКМ, може бути досягнута при використанні в якості основи ШР сталі. Було встановлено, що альтернативним

алмазному покриттю є ЕІЛ основи із ШР сталі [3].

Провівши експериментальні дослідження використовуваних на сьогоднішній день матеріалів для нанесення методом ЕІЛ покриттів, розглянувши фізико-механічні властивості різних матеріалів в якості матеріалу з найбільш високим коефіцієнтом теплопровідності і високою твердістю, показали, що покриття складом $TiCrB_2+AlN$ в найбільшій мірі відповідають алмазному, що дає можливість заміни інструменту з полікристалічним алмазом на інструмент зі швидкорізальної сталі з дискретним покриттям глобулярної структури складом $TiCrB_2+AlN$.

Для визначення конструктивної схеми дискретного покриття глобулярної структури на робочих поверхнях РІ, за умов досягнення мінімального рівня залишкових і експлуатаційних напружень, які виключають його руйнування в процесі різання, був проведений аналіз напружено-деформованого стану (НДС) робочих поверхонь різального інструменту із ШР сталі покриттям ($TiCrB_2+AlN$), нанесеним методом ЕІЛ [4].

Встановлено, що найбільш важливий ефект дискретної структури полягає у багаторазовому зниженні розтягуючих напружень в небезпечному перерізі поблизу площини адгезійного контакту. Особливість глобул при навантаженні - однорідний НДС без небезпечних концентраторів напружень.

На основі реалізації модифікованого алгоритму МГВА, адаптованого до моделювання процесів обробки ВПКМ, отримані моделі залежності сили різання та шорсткості обробленої поверхні деталей з ВПКМ від конструктивної схеми покриття та режимів різання, що дозволив визначати раціональні режими різання та параметри покриття для отримання заданої якості обробленої поверхні.

Розроблена методика визначення силового навантаження вздовж різальних кромки інструмента, яка дозволяє в залежності від конструкції інструмента, схеми різання та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу розробити конструктивної схеми нанесення покриття.

На підставі досліджень розроблено технологічний процес нанесення, архітектуру та склад зносостійких дискретних покриттів глобулярної структури на різальний інструмент зі швидкорізальної сталі, що дозволяє зменшити вартість інструменту в 6 - 8 разів без втрати продуктивності обробки та якості отриманих виробів.

Література:

1. Лабунець В.Ф., Корбут Є.В., Адаменко Ю.І. Перспективи використання композиційних матеріалів в авіакосмічній галузі. Проблеми тертя та зношування. Науково-технічний збірник. Київ, 2011, Вип. 56, С. 89 – 96;
2. Корбут Є.В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням. Перспективні технології та прилади. Луцьк, 2018, С. 82-87;
3. Корбут Е.В., Ляшенко Б.А., Подчерняева И.И., Юрченко Д.В. Перспективы электроискрового упрочнения твердосплавного режущего инструмента. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Київ, 2012, № 12, С. 67 – 80;
4. Калініченко В.І., Марчук В.Є., Корбут Є.В. Напружено-деформований стан різального інструменту з дискретним покриттям. Проблеми тертя та зношування. НАУ. Київ, 2017, Вип.1(74), С. 104-109.

ДОСВІД ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ЦЕНТРУ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ІФНТУНГ

Корнута В. А., к.т.н., доцент, Буй В. В., Кулик Т. П.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розвиток економіки на базі актуальних інновацій у сучасному світі практично неможливий без застосування сучасних технологічних засобів. Таким чином, якомога ширше охоплення мешканців регіону інформуванням та навчанням використанню у власній діяльності сучасних технологічних засобів є основою, без якої неможливий інноваційний розвиток економіки в умовах переходу до парадигми технологічного укладу «Індустрія 4.0».

Центр інноваційного розвитку ІФНТУНГ (далі у тексті – ЦІР, Центр) утворено в ході реалізації заходів проекту міжнародної технічної допомоги за програмою транскордонного співробітництва «Румунія-Україна 2014-2020» (далі – Проект). Центр оснащено верстатами з ЧПК (трикоординатні фрезери, лазерний гравер-різак, плазморіз), переважно вітчизняного виробництва, принтерами 3D (FDM та SLA), а також численним ручним інструментом (слюсарним, столярним, а також інструментом з електро- та пневмоприводом), верстакami та допоміжними приспособами, є й кілька паяльних станцій. Планується придбання преса та електропечі.

Реалізація власних проектів «в матеріалі» студентами, науковцями та зацікавленими країнами – спосіб навчання застосуванню сучасних технологій для вирішення повсякденних та новаторських завдань, закладений в якості основної ідеї під час створення ЦІР. Обладнання Центру не плановано для створення виробів важкого машинобудування. Добір обладнання здійснювався для забезпечення можливості виготовлення макетів та фізичних моделей виробів практично будь-якої складності (за винятком виготовлення мікроелектронних компонент), в т. ч. мехатронних систем.

Розглянемо кілька прикладів проектів зацікавлених користувачів.

Студент однієї з «механічних» спеціальностей ІФНТУНГ розробив та виготовив із використанням лазерного гравера-різака у ЦІР складану

конструкцію лялькового будиночка з фанери (рис. 1) як подарунок та розвиваючу іграшку для сестрички.

Викладачі кафедри прикладної економіки ІФНТУНГ розробили ділову гру-лабіринт для тренування навиків командної роботи та звернулися у ЦІР із проханням допомогти виготовити гру.



Рис. 1. Реалізація лялькового будиночка з фарбованої фанери

Працівники Центру допомогли ініціативним викладачам кафедри ПЕ розробити електронну модель макету гри та виготовити гру із використанням лазерного гравера-різака (рис. 2). Для остаточного доопрацювання складання гри придалися верстак та набір ручного інструменту.

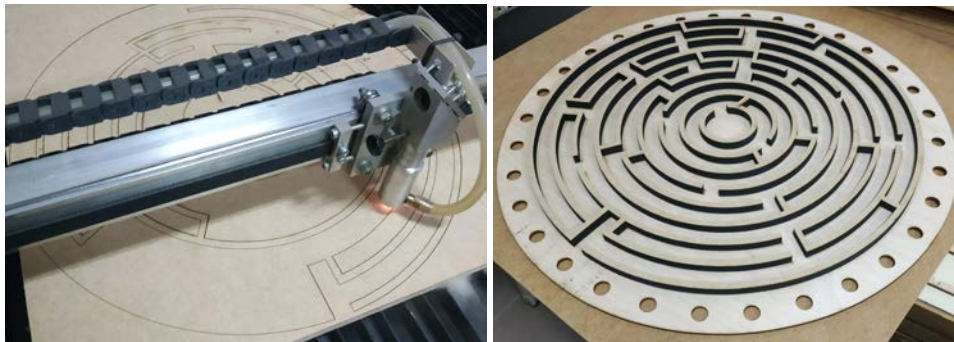


Рис. 2. Ділова гра-лабіринт для розвитку навичок командної роботи

Наукове містечко «Нова енергія» звернулось за допомогою у виготовленні інтерактивних експонатів «маятник Фуко» та «Механічний лабіринт» (рис. 3)



Рис. 3. Експонати інтерактивного музею.

а), б) платформа, виготовлена у ЦПР, в) експонат «маятник Фуко» (фото з вільнодоступних інтернет-джерел), г) виготовлення зубчастих коліс та «механічний лабіринт»

Один з краян звернувся із потребою виготовити органайзер у багажник автомобіля, який мав відрізнитись від оригіналу наявністю гнізда для саперної лопатки. Після консультацій з експертами Центру та короткого тренінгу, користувачем було розроблено 3D модель та виготовлено органайзер з екструдованого поліпропілену фрезеруванням (рис. 4).

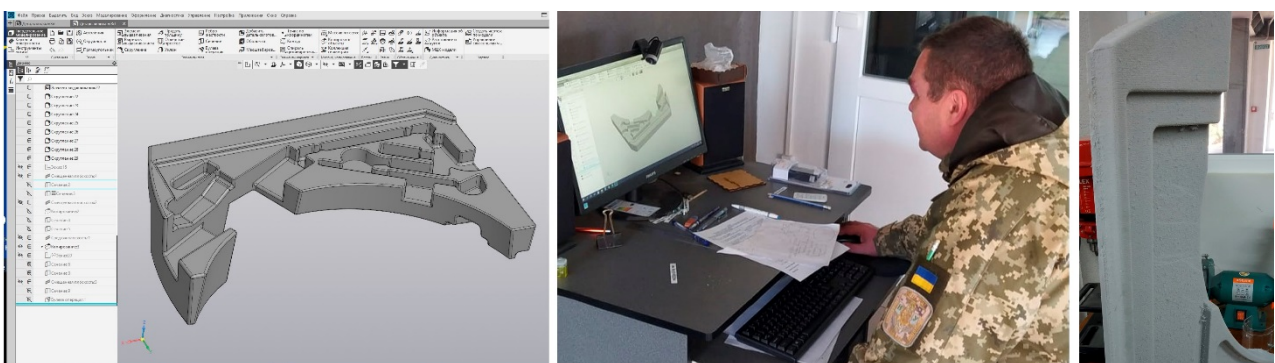


Рис. 4. Модель автомобільного органайзера (а) та готовий органайзер (б)

Ідеологія FabLab [1] передбачає також можливість виготовлення зацікавленими особами речей, які складно знайти на локальному ринку. Одним із таких прикладів використання можливостей ЦР можна навести виготовлення автовласником копії елемента пластикового кріплення автомобільної фари (рис. 4). Цей приклад цікавий тим, що елемент кріплення було відтворено із використанням 3D-сканера, подальшим доопрацюванням моделі та її відтворенням у матеріалі за допомогою 3D-принтера.

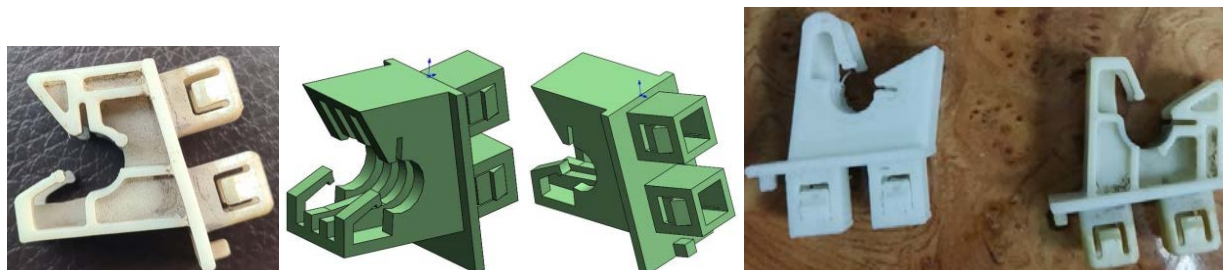


Рис. 5. Виготовлення пластикового елемента кріплення

Один із підприємців краю, який займається виготовленням меблів, звернувся із пропозицією щодо спроби використання обрізків, які є відходами, для виготовлення елементів меблювання. Зацікавленість підприємця полягала у спробі виготовлення взірця та відпрацюванні технології виготовлення нових виробів, що й було реалізовано спільними зусиллями експертів ЦР та користувача.

Таким чином, навіть у час дії карантинних обмежень, зумовлених пандемією COVID-19, ініціативні представники різних груп стейкхолдерів зацікавлені у використанні можливостей Центру інноваційного розвитку та реалізації своїх проєктів. Використання сучасної технологічної бази для виконання власних проєктів надає користувачам досвід та сприяє подоланню психологічного та економічного бар'єрів у застосуванні власних сил та знань для забезпечення власних потреб, а також реалізації підприємницьких ініціатив.

Карантинні обмеження призвели до того, що ряд запропонованих проєктів, у т. ч. міжнародних команд, на даний час ще не реалізовано (оскільки для їх реалізації потрібна особиста присутність команд користувачів у ЦР). Однак час карантину використано для налагодження роботи ЦР, тренування експертів, відпрацювання технологій роботи інформаційної системи.

Література:

1. What is Fab Lab? <https://fabfoundation.org/getting-started/#fablabs-full> (станом на 26.12.2021)

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕРТЯ І ЗНОШУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Куць Н.Г., к.т.н., доцент, Назарук В.В., аспірант
Луцький національний технічний університет

Транспортний комплекс тісно пов'язаний практично з усіма галузями виробництва та соціальної сфери і тому, тенденції розвитку транспорту тісно слідує за загальною динамікою економічного розвитку України. З іншого боку транспорт, як і деякі інші галузі економіки, все ще має багато проблем таких, як нераціональна структура та висока енергоємність.

Транспортні засоби з тепловими, гібридними та електричними двигунами, що мають великі потужності та з підвищеними швидкостями одночасно веде до збільшення обертових моментів їх механізмів та ставиться багато вимог до надійності таких машин.

Під час експлуатації всіх видів транспорту втрачається їх працездатність і довговічність, відбувається зношення деталей машин, що частково пов'язано і впливом зовнішнього середовища. Впливу зовнішнього середовища піддаються поверхневі шари в яких утворюються мікротріщини, корозія, втомлюваність матеріалу, що веде до руйнації механізмів машини.

Аналізуючи такі агресивні впливи навколишнього середовища, інженери і конструктори таких транспортних систем вдосконалюють конструкції машин шляхом раціонального вибору матеріалів для деталей тертя і обертових деталей з покращеними властивостями, з новітніми технологічними процесами обробки їх поверхонь.

Одним з перших дослідників про тертя і зношування є Леонардо да Вінчі, який відкрив закон залежності сили тертя від коефіцієнту тертя при навантаженні. Ломоносов М.В. є основоположником теорії зношування матеріалів. Він пов'язав між собою поняття міцності з уявленнями про сили зв'язку між частинками.

Для безперервної технічної діагностики роботи різних типів двигунів і небезпечної зміни сил тертя в процесі руху транспортного засобу найбільш широко використовуються три теорії тертя: молекулярно-механічна чи адгезійно-деформаційна, механохімічна, атомно-молекулярна гіпотеза тертя.

За молекулярно-механічною теорією, сила тертя залежать від фізико-механічних властивостей матеріалів деталей обертання. Механохімічна теорія розглядає тертя як процес утворення і руйнування вторинних структур на робочих поверхнях. Атомно-молекулярна гіпотеза тертя розглядає цей процес, як ковзання двох поверхневих шарів молекул в парах обертання.

Для виявлення небезпечної зміни сил тертя в процесі руху транспортного засобу найбільш перспективним є метод, заснований на аналізі радіошуму, що виникає в процесі функціональної роботи різних пристроїв в складній технічній системі. У зв'язку за мету ставиться завдання розробки дистанційної і бортової апаратури аналізу і прийняття правильного рішення на продовження руху або

оптимального управління шляхом аналізу радіошуму кожного працюючого окремого блоку, як в автоматизованому, так і в автоматичному режимі.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити існуючі методи вимірювання інтегральної потужності радіошуму різних транспортних засобів;
- розробити відповідну апаратуру для аналізу, вимірювання і ідентифікації інтегральної потужності радіошуму різних транспортних засобів;
- розробити метод ідентифікації спектра амплітудних і фазово-частотних модуляцій, а також його відхилення від еталонного шляхом аналізу зображення отриманого спектра модуляцій;
- провести аналіз отриманих результатів обробки радіошуму на різних деталях обертання на транспорті.

Література

1. Гречихин Л.І., Лапцевіч А.А., Куць Н.Г. Аеродинаміка літальних апаратів. - Мн.: «Право та економіка», 2012. - 285 с ..
2. Трибология. Физические свойства, механика и технические приложения / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский. Под ред. Д.Г. Громаковский. – Самара, 2003. – 268 с.
3. Костецкий Б.И., Натансон М.Э, Бершадский Л.И. Механо-химические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 2003. – 169 с.

МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ПРУЖИН ПРИ СТИСКУВАННІ

О. І. Лещенко, к.т.н., доцент

Приазовський державний технічний університет, Україна, Маріуполь

У 1676 році англійський фізик Роберт Гук сформулював закон, що лежить в основі принципу пружинних механізмів. Постійне вдосконалення машинного виробництва стимулювало розвиток технологій масового виробництва виготовлення пружин, різних за формою: кручених, спіральних, фасонних та ін. На даний час найважливішими елементами більшості конструкцій є пружні елементи, які в багатьох випадках визначають надійність і довговічність роботи пристроїв, приладів та машин загалом. Цим пояснюється зростання вимог, що пред'являються до пружинних елементів за точністю їх робочих показників, за надійністю та довговічністю їхньої служби у різних умовах роботи. Сучасні програмні пакети комплектуються програмами для розрахунку пружин. Наприклад, ANSYS Workbench Mechanical, КОМПАС-SPRING або T-FLEX пропонують додатки для проектного та перевірного розрахунків пружин за результатами, яких можуть бути автоматично побудовані 3D моделі пружин, визначені технічні вимоги до них та діаграми деформацій. SolidWorks Motion, призначений для кінематичного та динамічного розрахунку руху механізмів має додатковий модуль – «пружини», стискування, розтягнення, кручення або

просто пружні демпфери. В цьому випадку додаток запускає алгоритм аналізу початкових даних - довжини пружини та заданого матеріалу, її зовнішнього діаметра, допустимих сил попередньої та робочої деформацій, числом циклів розтягування - стиснення до критичного руйнування. Результатом такого розрахунку фактично є клас пружини із загальними параметрами міцності. При цьому не враховуються багато конструктивних особливостей роботи пружини. Наприклад, центрування пружини відбувається по внутрішній поверхні витків або в поверхні гільзи, який відсоток поверхні контакту між кінцевими витками пружини і опорними поверхнями для неї. Водночас виникає потреба розрахунку пружин оригінальної форми з нестандартним базуванням у механізмах різних виробів. У цьому випадку незамінним інструментом є МКЕ, яким реалізується можливість апроксимації будь-якої величини дискретною моделлю, що побудована на основі кусково-безперервних функцій.

Якщо при статичному розрахунку визначаються діючі напруги, які порівнюються з межею міцності на розтяг дроту пружини заданого діаметра і матеріалу, то при навантаженнях змінного характеру стає важливим розрахунок запасу втомної міцності або прогнозованої циклічної довговічності. Особливої актуальності це набуває для пружин великої довжини, коли виникає небезпека втрати згинальної стійкості пружини, тобто "випукування" пружини у бік або збільшення середнього діаметра пружини – порушення радіальної стійкості. При цьому величину співвідношення довжини пружини L та її середнього діаметру D_{cp} ($L/D_{cp} < 1.75 \dots 3.75$) можна віднести до необхідного, але далеко не достатнього критерію стійкості. Відомі численні дослідження втрати стійкості пружин на основі математичних моделей з поданням об'єкта у вигляді прямого або криволінійного бруса, з впливом осьової або поперечної сили. Найбільша збіжність теоретичних та аналітичних результатів була досягнута, коли критичні навантаження на стислий брус визначались шляхом розгляду його малих поперечних коливань – практично за аналогією із застосуванням МКЕ.

Метою роботи є проведення дослідження (рис. 1) згинальної та радіальної стійкості пружин при їх деформації в межах пружних переміщень. Розглянемо 3D моделі навантаження конструкцій стиснення пружин з можливістю ковзання її торцевих витків по опорним, абсолютно жорстким поверхням втулок, із заданим коефіцієнтом тертя.

Змінне навантаження з нерівномірно розподіленим тиском за рівнянням гвинтової лінії прикладається до витків пружини. У разі зростання тиску до певної межі ведеться розрахунок малих переміщень без зміни напрямку сил навантаження. При деякому граничному тиску вирішальна програма передбачає, що жорсткість пружини змінюється під час навантаження, тому надалі розрахунок деформації відбувається поетапно, з перерахуванням жорсткості на кожному етапі рішення.

Моделювання показало, що за певного зусилля спостерігається втрата радіальної стійкості (рис. 1, а). Подальше збільшення чинної сили може призвести до втрати стійкості осьової (рис. 1, б). Якщо обмежитися статичним дослідженням, можна побачити кінцевий результат деформації пружини. У

нелінійних дослідженнях можна переглядати покрокові результати деформації, але для цього на модель накладаються додаткові умови.

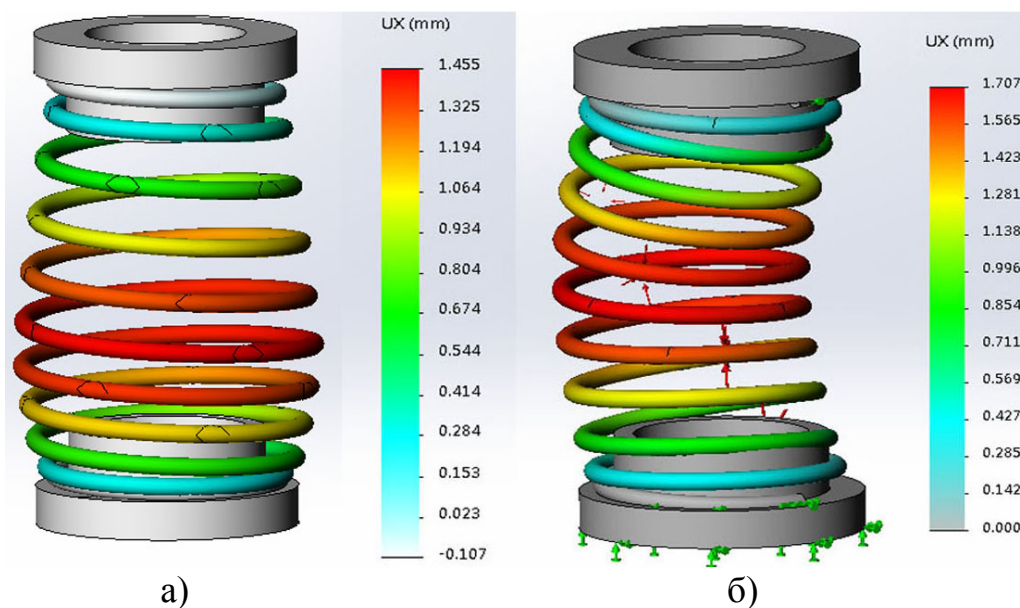


Рис.1. Форми втрати стійкості пружин: згинальна (а) та радіальна (б)

Для аналітичного розрахунку міцності, зазвичай, форма реального об'єкта дослідження спрощується. Численні довідники дають великий матеріал з цього питання з переліком емпіричних коефіцієнтів, що враховують умови роботи виробу. Спосіб МКЕ з розбиттям деталей осередками сітки має інший підхід, опанувати який може конструктор, не маючи спеціальних знань з опору матеріалів, як попередній аналіз, вже на стадії проектування виробу.

РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ

Лукань Т. В., асистент, Палюх М. А.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

В межах проведення студентських інноваційних робіт у навчально-дослідницькій лабораторії «Робототехніки та засобів автоматики» кафедри комп'ютеризованого машинобудування ІФНТУНГ запропоновано розробку спеціального стрічкового конвеєра, який призначено для забезпечення процесу вивчення роботизовано механоскладальної дільниці та досліджень на її базі [1]. Конвеєр має портативний характер, тобто передбачено його швидке переналагодження у залежності від поставленої навчальної чи дослідницької задачі.

Керування конвеєром передбачено на основі розробки спеціальної гнучкої керуючої програми із застосуванням програмованих логічних контролерів PLC “Fatek” [2] та змінних, які є деталями, що виконуються спеціально для досліджуваної теми. У навчальному процесі таким чином передбачається певна інновація: за щораз стрічковий конвеєр переналагоджується як програмно так і механічно, тобто його підлаштовують за рахунок іншої групи спеціально виконаних із модельних матеріалів деталей, що мають обслуговуватися на дільниці.

Отже, стрічковий конвеєр слугує як навчальний засіб для ряду дисциплін, що пов’язані із автоматизацією, роботизацією і програмуванням, а також за допомогою його портативності та можливості ефективно переналагоджуваності у навчальному процесі практично ознайомлюватимуться із гнучкими виробничими технологіями.

Прикладом такої інновації є застосування в парі із конвеєром інших засобів автоматики, таких як: транспортний робот-візок [3] та транспортна рухома платформа [4]. Усі вказані засоби розроблено і втілено авторами–студентами наживо і представляють собою їхній комплексний програмний твір на основі вивчення дисциплін пов’язаних із мікропроцесорним керуванням [1] та засобів автоматики, а також із застосуванням наукових здобутків викладачів КМВ, наприклад із основ автоматики [5].

Література:

1. Онисько О.Р., Панчук В.Г., Лукань Т. В. Мікропроцесорне керування мехатронних систем: навчальний посібник. — Івано–Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. —302 с.
2. Панчук В.Г., Онисько О.Р., Лукань Т.В. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні. Програмування ПЛК FATEK у середовищі WinProLadder. Лабораторний практикум. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015.- 35 с
3. Лукань Т.В. Винничук Б.Б., Сидор Н.І. Шасі-автомат на основі програмованого контролера. *Матеріали. ХІХ Міжнар.Молод.Наук. техн.конф. Машинобудування - очима молодих: - прогресивні ідеї - наука - виробництво. Суми 25-26 лист. Суми. 2020. с. 25-26.*
4. Лукань Т.В., Мельник О.Б. Автоматизована рухома платформа для навчального робототехнічного класу. *ІХ Міжнародна науково-практична інтернет конференція Сучасний рух науки: тези доп. ХІ міжн. Наук.-практ. Конф. 8-9 жовт. Дніпро 2020, Т 1 2020. С. 401-402.*
5. Onysko O., Lukan T., Pituley L., Shuliar I., Havryliv. Y. Basics of automation of profiling of high-efficient inserts of the tool for thread machining. *STED Journal ISSN 2637-2614 2(2). November 2020, P. 22–28.*

РОЗРОБКА ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА ІЗ ЧПК НА ОСНОВІ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ "DELPHI"

Лукань Т. В., *асистент*, Петрик С.Ю.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Робочою програмою дисципліни «Основи програмування» передбачено виконання студентських курсових робіт, які охоплюють ряд важливих процедур візуального об'єктного програмування [1]. До таких спеціально створених додатків належить розроблена прикладна програма, яку призначено для автоматизованого розрахунку режимів різання фрезерного верстата із ЧПК. Специфікою розробки є те, що вона акцентована на вироби із пластиків – таких як акрил, а також легких сплавів, наприклад на основі магнію та виробів із фанери. По суті, у роботі розкрито тему розкрою та гравірування виробів із вказаного різноманіття матеріалів.

Курсову роботу можна застосувати у навчально-методичних цілях, оскільки вказані матеріали відносяться до легко оброблюваних і вочевидь її реалізація «у матеріалі» є цілковито доречною для застосування у межах виконання як лабораторних робіт, так і для реалізації інноваційної та винахідницької діяльності. Особливе місце розробка може посісти для початківців у винахідницькій діяльності, як щодо заявки на програмний твір, так і у середовищі виготовлення діючих технічних моделей [2].

Оскільки в університеті нафти і газу відкрито Центр інноваційного розвитку з широким спектром технологічних можливостей, особливо щодо застосування навчальних фрезерних верстатів із ЧПК [3], то така розробка може слугувати базою для заохочення як студентів молодших курсів так і школярів до участі у інноваційній діяльності, оскільки вивчення основ програмування у середовищі «Delphi» власне й призначене для ознайомлення із можливостями візуального об'єктно-орієнтованого алгоритмічного програмування.

Література:

1. Онисько О.Р. Основи програмування: навчальний посібник. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 100 с.

2. Лукань Т.В., Мельник О.Б. Автоматизована рухома платформа для навчального робототехнічного класу. *IX Міжнародна науково-практична інтернет конференція Сучасний рух науки: тези доп. XI міжн. Наук.-практ. Конф. 8-9 жовт. Дніпро 2020, Т 1 2020. С. 401-402.*

3. Відкриття Центру інноваційного розвитку. URL: <https://nung.edu.ua/event/vidkryttya-tsentru-innovatsiynoho-rozvytku>. (Останнє звернення 10.01.2022)

МОДЕЛЬ НАВЧАЛЬНОГО РОБОТА BCN3D MOVEO В СЕРЕДОВИЩІ RoboDK

Медвідь Ю.В., інженер, Баланик С.М., студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

В якості об'єкта для вивчення основ роботизації на кафедрі комп'ютеризованого машинобудування обрано повністю функціональний відкритий навчальний проект роботизованої руки BCN3D Moveo від компанії BCN3D Technologies. Механічна конструкція робота надрукована з використанням 3D технології та керується апаратним і модифікованим програмним забезпеченням Arduino.

Сучасні тенденції підготовки роботизованого виробництва полягають у використанні програмного забезпечення, зокрема RoboDK (<https://robodk.com/>), для моделювання робочого середовища робота і симуляції його роботи. ПЗ RoboDK має велику бібліотеку промислових роботів та супутніх пристроїв (<http://bit.do/fS2iW>), інструменти для створення моделей роботів і їх автономного програмування поза виробничою зоною.

На даний час, у бібліотеці RoboDK відсутня модель робота BCN3D Moveo, тому виникла задача створення такої моделі. Вихідна 3D модель є відкритим проектом, розроблена в середовищі SolidWorks і розміщена у вільному доступі. На платформі Github за посиланням <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo> розміщено специфікацію деталей, комплектуючих і матеріалів, необхідних для виготовлення роботизованої руки, рекомендації зі складання і налагодження робота, файли деталей руки в форматі STL і комплект файлів роботизованої руки

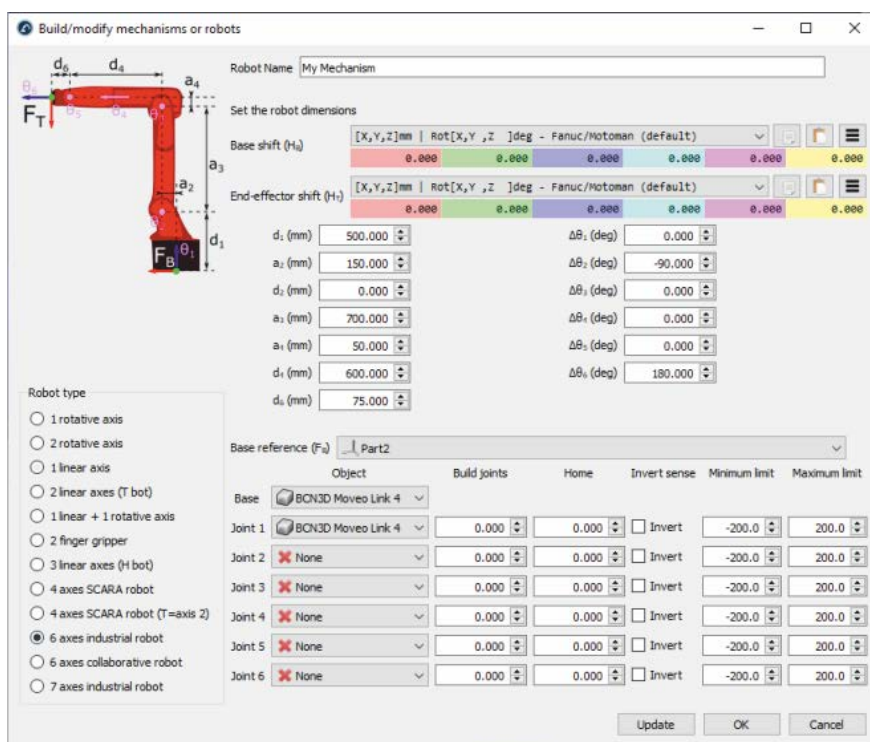


Рис.1. Робоче вікно для створення моделей механізмів в RoboDK

в середовищі SolidWorks для можливості модифікації існуючої конструкції за власними потребами. Базова конструкція робота BCN3D Moveo має 5 степенів вільності, тому ми використали модифіковану конструкцію на 6 степенів вільності (<https://www.thingiverse.com/thing:2146252>). Для створення моделі робота в RoboDK використовуємо спеціально передбачений інструмент «Build/modify mechanisms or robots» (рис. 1).

У відповідних полях форми вказуються параметри Денавіта-Хартенберга для обраної конструкції механізму або робота. Окремі елементи конструкції імпортуються в програму у форматі STL.

Отримана модель зображена на рис. 2. Тепер існує можливість програмування переміщень робота, створення робочого середовища та імітаційне моделювання роботи всієї роботизованої системи. Створена модель використовується в навчальному процесі.

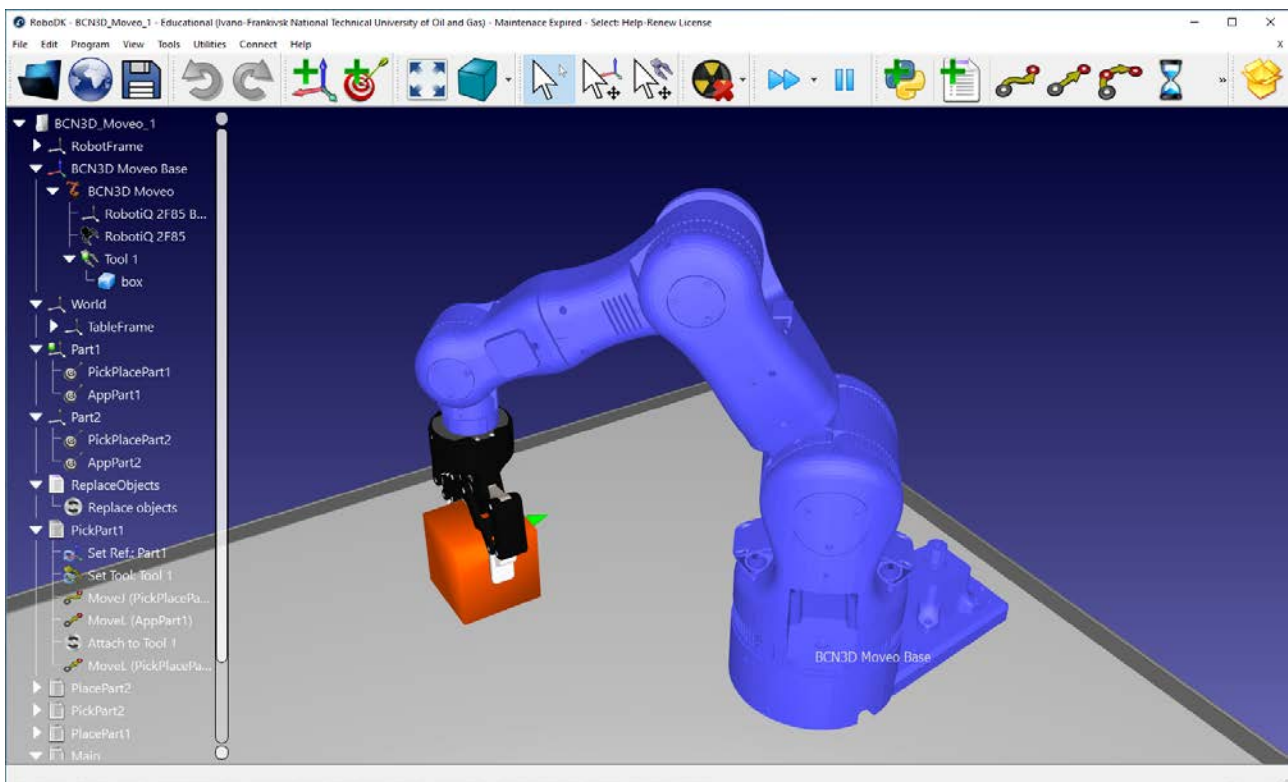


Рис.2. Модель робота BCN3D Moveo в середовищі RoboDK

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ПРИ ЧОРНОВІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Мироненко Є. В., д.т.н., професор, Калініченко В. В., к.т.н., доцент
Донбаська державна машинобудівна академія

Постійне зростання рівня вимог до ефективності технологічних процесів механічної обробки деталей важкого машинобудування зумовлює потребу в технічному переоснащенні виробничих систем галузі на базі використання автоматизованого технологічного обладнання з ЧПК. Широке впровадження такого обладнання передбачає зміну підходів до інструментального забезпечення механічної обробки у важкому машинобудуванні. Ефективна експлуатація верстатів з ЧПК вимагає використання високопродуктивного та надійного інструменту, оснащеного різальними пластинами з прогресивних марок інструментальних матеріалів, здатних забезпечити регламентовані показники стійкості інструменту у заданих умовах обробки. Одним з чинників забезпечення високих показників продуктивності механічної обробки, стійкості та надійності різального інструменту є наявність на його робочих поверхнях зносостійкого покриття з необхідним набором функціональних характеристик. Використання твердих сплавів зі зносостійкими покриттями у вітчизняному важкому машинобудуванні невпинно розширюється, причому не тільки у традиційній для них ніші чистової обробки. Так, різці, оснащені твердими сплавами з покриттям, знаходять все ширше використання на операціях чорнової токарної обробки деталей важкого машинобудування [1].

Використання твердосплавного інструменту з покриттям при чорновій токарній обробці деталей важкого машинобудування має свої специфічні проблеми, що досліджувались у попередніх роботах співавторів [2, 3]. Відповідно до них, при чорновій токарній обробці деталей на важких верстатах твердосплавна різальна пластина зазнає складної дії механічних та теплових навантажень значних величин. Відмови різців спричиняються зношуванням різних видів (абразивним, адгезійним, дифузійним), крихким руйнуванням різальної пластини, пластичним деформуванням різальної кромки [3]. Значна питома частка крихкого (поламки, сколювання, викришування) та пластичного руйнування різальних пластин у структурі відмов інструменту зумовлює невисокі показники надійності різців та недостатню ефективність їхнього використання на верстатах з ЧПК. Причиною енерговитратності обробки є високий рівень силового навантаження у зоні різання та значні втрати часу на заміну різальної пластини (різцевого блоку), що зумовлені невисокою стійкістю та значним відсотком раптових відмов різців і є причиною значних втрат енергії при роботі двигуна привода головного руху на холостому ході [2].

Специфічні фактори негативного впливу на працездатність інструменту, продуктивність та енергоефективність обробки при чорновому точінні сталевих деталей на важких верстатах за результатами проведеного у роботах [2, 3] аналізу представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Специфічні фактори негативного впливу на працездатність інструменту, продуктивність та енергоефективність обробки при чорновому точінні сталевих деталей на важких верстатах (за роботами [2, 3])

Фактор	Причина, що зумовлює появу фактору	Негативні наслідки дії фактору
Викришування твердого сплаву на різальній кромці	Дія температурних коливань, спричинених нерівномірним характером припуску	Інтенсифікація зношування різальної пластини по задній поверхні; підвищення імовірності крихкого руйнування різальної пластини
Пластична деформація різальної кромки	Спільна дія високих температур та контактних навантажень при значних величинах подач	Зростання частки пластичного руйнування різальної пластини у загальній структурі відмов різців
Втрата міцності різальної кромки внаслідок інтенсивного лункоутворення на передній поверхні різальної пластини	Вплив високих температур при різанні	Підвищення імовірності крихкого руйнування різальної пластини
Поява борозен зносу на головній та допоміжній задніх поверхнях різальної пластини	Утворення на контактних поверхнях різальних пластин оксидних плівок при температурах $\Theta = 1100...1300$ °C	Інтенсифікація зношування різальної пластини по задніх поверхнях
Висока питома частка крихкого руйнування різальних пластин у загальній структурі відмов різців	Інтенсивне зношування різальних пластин по задній поверхні; втрата міцності різальної кромки внаслідок інтенсивного лункоутворення на передній поверхні різальної пластини; викришування твердого сплаву на різальній кромці	Зниження показників надійності різців; ускладнення експлуатації різців на сучасному верстатному обладнанні з ЧПК з регламентованим періодом стійкості інструменту
Занижений рівень швидкості різання	Необхідність запобігання значним температурам на контактних поверхнях різальних пластин	Зниження продуктивності обробки; збільшення питомої частки поломок різальних пластин у загальній структурі відмов різців; зростання коефіцієнта варіації стійкості різців
Висока енергомісткість обробки	Високий рівень силового навантаження у зоні різання	Зростання витрат енергії на процес обробки
Значні втрати часу на заміну різальної пластини (різцевого блоку)	Невисока стійкість різців; значна частка раптових відмов у загальній структурі відмов різців	Зростання витрат енергії при роботі електродвигуна привода головного руху верстата на холостому ході

Враховуючи складну специфіку роботи інструменту при досліджуваних процесах обробки, до характеристик твердого сплаву з покриттям, крім вимоги забезпечення високої зносостійкості, висувуються також вимоги ефективного стримування розвитку явищ, що спричиняють крихке та пластичне руйнування різальної пластини. При чорновій обробці деталей важкого машинобудування потрібно використовувати марки твердих сплавів з міцною основою (бажано – з наявністю градієнтної зони для забезпечення поступової зміни характеристик при переході від матеріалу основи до покриття), раціональною товщиною покриття, низькою дефектністю та сприятливим співвідношенням характеристик твердості та пластичності матеріалів шарів покриття [1, 2]. Такі характеристики забезпечують підвищений опір різальної пластини мікро- та макроруйнуванню в умовах комплексної дії адгезійно-втомних процесів та термопластичного навантаження. Міцна основа забезпечує здатність сплаву до опору крихкому руйнуванню при значних силових навантаженнях. Значна товщина покриття є фактором зниження

термомеханічної напруженості у контактних зонах твердого сплаву, дозволяючи знизити інтенсивність зношування по задній та лункоутворення по передній поверхнях, пластичної деформації пластини, а за рахунок затухання температурних коливань – ще й зменшити імовірність викришувань на різальній кромці. Дія вказаних факторів знижує імовірність поламак різальних пластин, змінюючи структуру відмов різців при чорновій обробці деталей в бік зменшення питомої частки руйнування та збільшення питомої частки зносу [2]. Ефективне стримування розвитку термомеханічних процесів при різанні дозволяє підвищити рівень швидкостей різання та знизити енергомісткість обробки. Таким чином, перспективи ефективного використання твердих сплавів з покриттями при чорновій токарній обробці деталей важкого машинобудування залежать від здатності марки сплаву протистояти дії факторів, наведених у таблиці 1.

У якості прикладу інструментального матеріалу, що відповідає висунутим вимогам, можна навести, зокрема, твердий сплав GC 4025 («Sandvik Coromant») з покриттям TiCN–Al₂O₃–TiN товщиною 12 мм, нанесеним CVD-методом на тверду основу з підвищеним вмістом кобальту. Комбінація твердої основи з відносно товстим покриттям, сприятливе співвідношення твердості та пластичності матеріалів шарів покриття забезпечують працездатність різальної пластини в умовах чорнкової обробки зі зняттям великих перетинів зрізу [3].

Інший приклад – успішне використання твердого сплаву 6635 («Pramet») з MT-CVD-покриттям на функціонально градієнтному субстраті з відносно високим вмістом кобальту при чорновому точінні бочок прокатних валків великого діаметру зі сталей 75ХМФ та 100ХНМФ [2]. Опір композиції «основа – MT-CVD-покриття» явищам, що спричиняють початок крихкого руйнування твердого сплаву, забезпечує однозначне домінування зносу у структурі відмов інструменту та високі показники стійкості різців.

Література:

1. Мироненко, Є. В. Особливості науково обґрунтованого вибору твердого сплаву з покриттям для чорнкової токарної обробки деталей важкого машинобудування / Є. В. Мироненко, В. В. Калініченко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали ХІХ Міжнародної науково-технічної конференції 01–04 червня 2021 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – С. 102.

2. Мироненко, Є. Специфіка використання твердосплавних різальних пластин з покриттям при чорновій та напівчистовій токарній обробці деталей важкого машинобудування / Є. Мироненко, В. Калініченко, В. Хорошайло, Д. Гузенко // Різання та інструмент в технологічних системах : Міжнар. наук.-техн. зб. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – Вип. 91. – С. 169–181.

3. Соловьев, В. В. Применение пластин с покрытиями при черновом точении на тяжелых токарных станках / В. В. Соловьев, Е. В. Мироненко, В. С. Гузенко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – № 3. – 2010. – С. 54–59.

МІСЦЕ І РОЛЬ ДИСЦИПЛІНИ «КОМП'ЮТЕРНА ХУДОЖНЯ ТА АНІМАЦІЙНА ГРАФІКА» У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ ЗА ОСВІТНЬОЮ ПРОГРАМОЮ «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

Олег Онисько, д.т.н., професор

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Більшість сучасних програмних застосунків, які використовують для надання освітніх послуг у галузі знань Механічна інженерія є в основному продукцією великих ІТ-компаній, які власне спеціалізуються на відповідному для галузі спектрі CAD, CAM, CAE систем. Ці середовища розробки сповідують потреби дизайнерів, конструкторів, технологів та фахівців із розрахунків у інженерній механіці. Проте у дизайнерських колах давно прийнято застосовувати CAD-системи, які сприяють створенню проектів, які б давали змогу отримувати максимально реалістичну візуалізацію запроєктованого виробу прикладної механіки. Для навчальних цілей доволі потужним середовищем «Реалістичної візуалізації» є 3DsMAX компанії AutoDESK, яка є розробником CAD-програм, що широко застосовуються у машинобудуванні.

Як приклад дисципліни «КОМП'ЮТЕРНА ХУДОЖНЯ ТА АНІМАЦІЙНА ГРАФІКА» показано один із фрагментів лекційного матеріалу, у якому представлено проєкт байка, що передбачає електропривід, тому він без ланцюгової трансмісії (Рис.1).

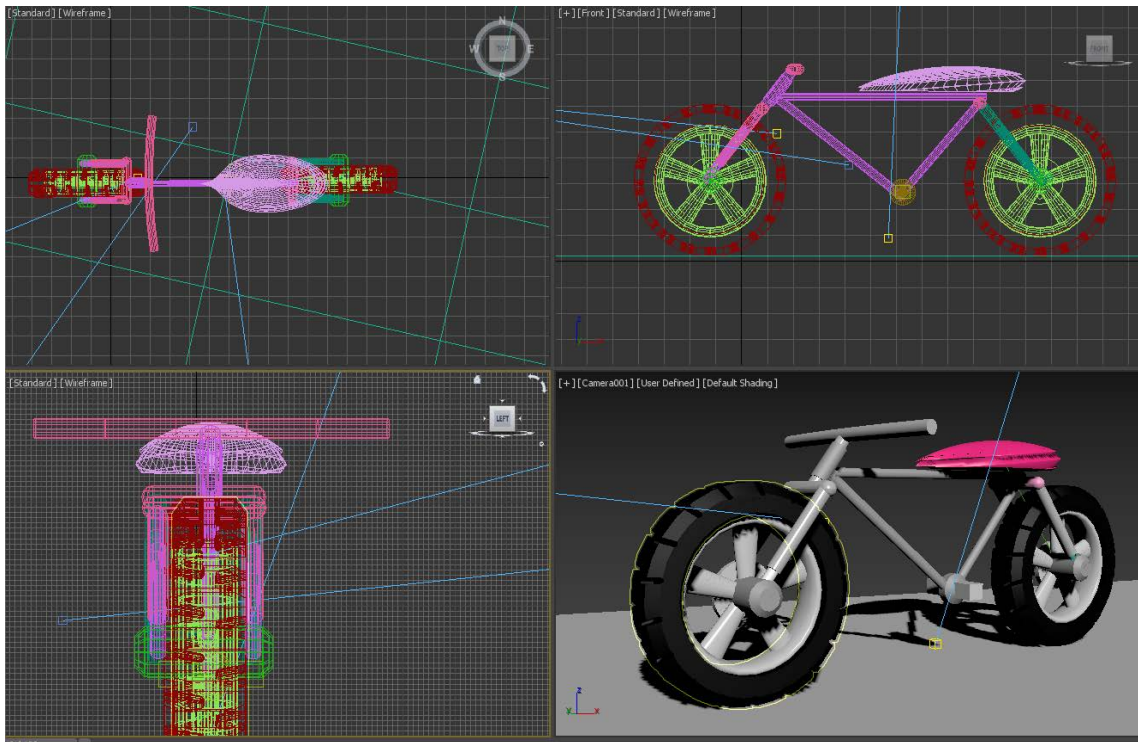


Рис.1. Проєкт байка, виконаний у середовищі AutoDesk 3DsMAX.фрагмент лекційного матеріалу

Середовище 3Ds MAX вирізняється тим, що у його арсеналі є багатий вибір текстур, які можна надавати різним за призначенням матеріалам. Властиво вони, разом із такими реалізаторами природності, як світлові ефекти, блики, тіні, в також із забезпеченням дзеркальності гладких поверхонь за правильно підібраних співвідношень джерел світла та установлення камери додають виробу привабливої наближеності до діючої моделі (Рис.2).



*Рис. 2. Візуалізація (Rendering) проєктованого байка.
Фрагмент лекційного матеріалу*

На нашу думку, проєкти, що доповнені так званими «Фото» виробів, а також анімаційними роликами з їхньою участю можуть покращувати їх сприйняття наприклад, можливими інвесторами, чи іншими людьми, яких потрібно зацікавити. Відповідно до цього, ми вважаємо за доцільне у межах надання освітніх послуг проводити лекційно-практичний навчальний курс за програмою дисципліни «Комп'ютерна художня та анімаційна графіка» [1].

Література:

1. Онисько О. Р. Підготовка електронних документів, художня та анімаційна графіка. Начальний посібник. Івано-Франківськ. 2010. – 201с.

МОДЕЛЬ МОДУЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ПЛАЗМИ НА ОСНОВІ ARDUINO NANO

Панчук В.Г., *д.т.н., професор*, Панчук А.Г., *к.т.н., доцент*,
Бережанський Д.М., *студент*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Модуль регулювання висоти плазми є обов'язковим компонентом будь-якої системи плазмового різання, зокрема і роботизованої, який забезпечує компенсацію нерівності металевого листа при виконанні довгих різів. Модуль включає в себе механічну частину, яка забезпечує поздовжнє переміщення плазмового різачка і електронну систему керування.

Існуючі конструкції регуляторів, наприклад RM-TNC-1, забезпечують підтримку заданої напруги на плазмовому різачку шляхом регулювання висоти різачка над листовим матеріалом і приєднуються до системи ЧПК верстату. Пристрій RM-TNC-1 має три релейні виходи («наявність дуги», «напруга менше» і «напруга більше»), які підключаються до комп'ютера і системи ЧПК MACH3 за допомогою інтерфейсної плати VL-MACH. Алгоритм обробки сигналів пристрою прописаний в самій системі ЧПК MACH3. Таким чином, система ЧПК одночасно задає траєкторію переміщення плазмового різачка в горизонтальній площині і регулює висоту різачка в процесі руху залежно від кривизни листа металу.

Такий варіант регулювання висоти плазмового різачка не прийнятний для використання у випадку плазмового різання за допомогою промислового робота. Принцип роботизованого плазмового різання полягає в тому, що система ЧПК робота забезпечує переміщення інструмента за заданою плоскою траєкторією паралельно до площини листа, а автономна система керування забезпечує регулювання висоти різачка для компенсування кривизни листового матеріалу.

На даний час існує необхідність створення системи плазмового різання на базі промислового робота KR-200-2 із системою керування VKRC1. На рис. 1 приведена функціональна схема системи регулювання висоти плазмового різачка.

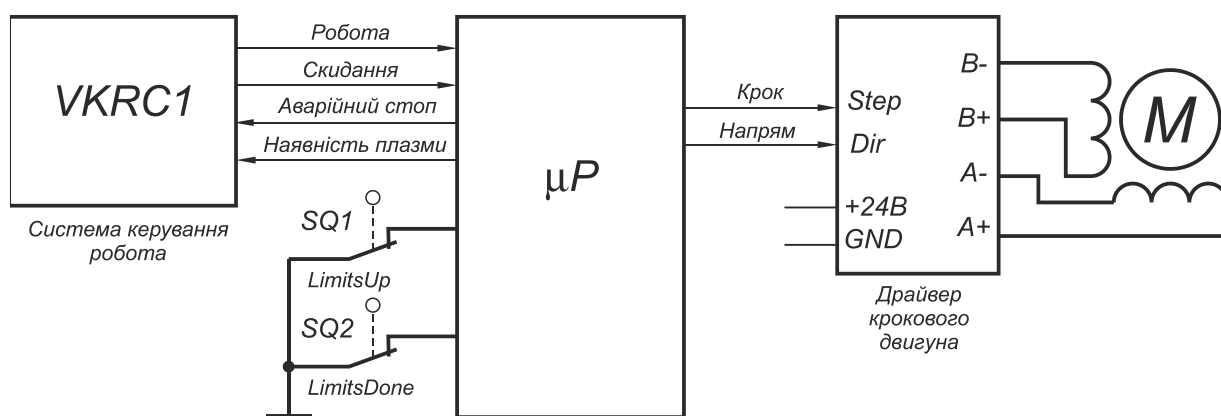


Рис.1. Функціональна схема системи регулювання висоти плазмового різачка

Керування системою регулювання здійснюється мікроконтролером. Мікроконтролер забезпечує обмін інформацією з системою керування робота, контроль положення різачка і генерування керуючих сигналів Step/Dir для драйвера крокового двигуна або двигуна постійного струму.

Для відпрацювання конструкції і програмного забезпечення системи керування виготовлено модель модуля регулювання висоти плазми (рис. 2). В якості привода використовується кроковий двигун, який підключено до мікроконтролера за допомогою драйвера крокового двигуна. В якості керуючого пристрою використано мікропроцесорний модуль Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega328P від компанії AVR. Кінцеві вимикачі контролюють крайні положення повзуна. Контроль плазми здійснюється шляхом вимірювання напруги між металевим листом і різачком. Для імітації напруги плазми використовується потенціометр. Додатково передбачено контроль наявності струму в кабелі маси за допомогою давача Холла.

В імітаційній моделі реалізовано наступний алгоритм керування.

1. При вмиканні і перезавантаженні системи здійснюється піднімання різачка в крайнє верхнє положення з наступним опусканням в задане початкове положення.
2. Контроль моменту торкання різачка до поверхні листа і відведення різачка на задану відстань для запалювання плазми.
3. За командою від робота (імітується кнопкою) і при наявності сигналу від давача Холла вмикання слідкуючого режиму. При перевищенні заданого рівня напруги переміщення різачка вниз, при зниженні напруги відносно заданого рівня переміщення різачка ввєрх.
4. Контроль крайніх положень повзуна і генерування аварійних сигналів.

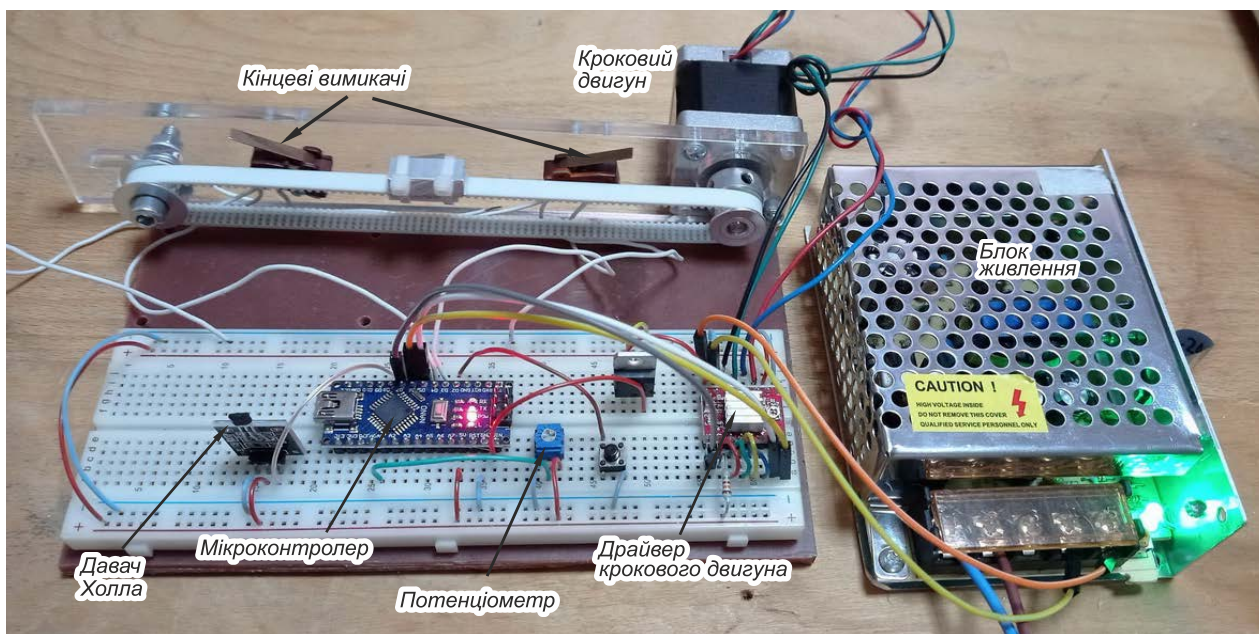


Рис.2. Модель модуля регулювання висоти плазми

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Пилипець М.І., *д.т.н., проф.*, Васильків В.В. *д.т.н., проф.*, Пилипець О.М.,
к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

В сучасних умовах постійно підвищуються вимоги до якості та конкурентоспроможності машин робочими органами яких є гвинтові механізми. Тому необхідно підвищувати якісні показники деталей гвинтових робочих органів. Від вирішення цієї проблеми залежить точність та надійність функціонування складних виробничих систем, до яких входять такі машини. Для виготовлення нових якісних деталей завжди необхідне проектування нових або вдосконалення відомих технологічних процесів. Така задача завжди багатоваріантна.

Основними завданнями, які постають перед розробником технології, є забезпечення для заданих конкретних умов виробництва випуску продукції необхідної якості, мінімальної собівартості та максимальної продуктивності. Саме таким вимогам відповідають технологічні процеси виготовлення гвинтових деталей з навивних заготовок (НЗ).

Одночасно вирішити ці завдання досить складно. У більшості випадків задача полягає в генерації можливих альтернатив рішень, їхній оцінці та виборі “кращої” з альтернатив. Саме тому на передній план виходять системи підтримки прийняття рішень (СППР), що останнім часом знаходять своє використання у різних галузях, зокрема, і в машинобудуванні.

СППР засновані на формалізації методів одержання вихідних і проміжних оцінок, що даються особі, що приймає рішення, і алгоритмізації самого процесу вироблення рішення. Людино-машинна процедура прийняття рішень за допомогою СППР являє собою циклічний процес взаємодії людини та комп'ютера.

У проектуванні технологічних процесів виготовлення НЗ деталей машин це пояснюється, в першу чергу, відсутністю теоретичних напрацювань, глибоких і послідовних досліджень, експериментальних і довідкових даних щодо раціональних схем і режимів формоутворення, особливостей процесів навивання, усіх складових виробничого процесу, а питання розроблення теоретичних основ оптимізації технологічних процесів виготовлення заготовок деталей машин є актуальними й важливими для вирішення конкретних завдань і вибору оптимального варіанта технології [1].

Задачу вибору оптимального варіанта технології виготовлення навивних заготовок деталей машин можна сформулювати так.

Для виготовлення НЗ деталей можливе використання n різних варіантів технологій та m видів ресурсів. Запас ресурсу кожного виду i (матеріал заготовки, устаткування, спорядження, енерговитрати, затрати праці тощо) обмежує величина b_i , $i = 1, m$. У випадку застосування варіанта технології j за одиницю часу необхідно затратити a_{ij} одиниць i -го ресурсу та виготовити c_j НЗ.

Позначимо через $x_j \geq 0$ час, протягом якого використовується j технологія, $j = \overline{1, n}$, а $z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – загальний випуск НЗ. Тоді умови задачі формалізуються у таких співвідношеннях.

Витрата ресурсу i за час x_j застосування технології j становитиме $a_{ij}x_j$, причому його загальне споживання всіма технологіями не може перевищувати кількість наявних ресурсів, тобто

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i. \quad (1)$$

Випуск продукції протягом життєвого циклу технології j становитиме c_{ij} , а протягом часу роботи за всіма технологіями має вигляд функції

$$z(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad (2)$$

значення якої потрібно максимізувати, вибравши змінні x_j з урахуванням накладених на них обмежень.

В результаті одержимо задачу у вигляді рівнянь:

$$\begin{aligned} \max Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i; \\ x_j &\geq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Вибрати оптимальний варіант технологічного процесу виготовлення НЗ можна також, мінімізуючи функцію мети за основними техніко-економічними показниками (матеріало- та енергомісткістю, часом виготовлення тощо). За таких умов можливе використання різних методів, зокрема, методу найшвидшого спуску [2]. Метод дає змогу віднайти мінімум функції n змінних $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ або розв'язок рівняння:

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (4)$$

Розв'язування приведенного вище рівняння еквівалентно знаходженню мінімуму функції

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n F_i^2(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

який дорівнює нулю.

Для цього задамо деяке початкове наближення $x_i^{(0)}$ і визначимо наступне наближення:

$$x_i^{(j+1)} = x_i^{(j)} + \lambda^{(j)} V_i^{(j)}, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

де напрями $V_i^{(j)}$ та величина j -го кроку дорівнюють:

$$V_i^{(j)} = -\frac{\partial F}{\partial x_i}, \quad \lambda^{(j)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x^i} \right)^2 \left(\sum_{i,k=1}^n \frac{\partial^2 F}{\partial x_i \partial x_k} \frac{\partial F}{\partial x_i} \frac{\partial F}{\partial x_k} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Усі похідні обчислюють за виконання умови: $x_i = x_i^{(j)}$.

Ітераційний процес продовжується до перетворення в нуль всіх похідних

$\partial F/\partial x_k$, або виконання умови:

$$|x_i^{(j+1)} - x_i^{(j)}| \leq \varepsilon, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Відповідно до обраної схеми формоутворення здійснюють розрахунок конструктивних параметрів обтискного ролика, вибір устаткування й спорядження для виготовлення НЗ, після чого проводять перевірку устаткування і спорядження на забезпечення необхідних силових параметрів процесу навивання. Якщо умова не виконується, то розрахунки корегують зміною необхідної сили притискання й уточнюють конструктивні параметри формотвірного інструменту. Далі необхідна інформація виводиться на друк і розрахунки припиняються.

Відповідно до розробленого алгоритму оптимізації проведено розрахунки силових та швидкісних параметрів процесів холодного навивання заготовок і конструктивних розмірів формотвірних інструментів.

Наприклад, для стрічок, матеріалу сталь 1Х18Н9Т шириною $B=30$ мм; товщиною $H=2,5$ мм; внутрішнім діаметром заготовки $d=30$ мм; кроком витка $T=2,5$ мм встановлені оптимальні параметри процесу формоутворення та розміри оправи й обтискного ролика: відносний радіус згину $r'=1,2$; швидкість навивання $V_n=29$ м/хв; подача $s_n=2,5$ мм/об; кутова швидкість $\varpi=1,2$ 1/с; зусилля навивання P_n до 880 Н; момент навивання M_n до 450 Нм; зусилля попереднього притискання $P_{np}=550$ Н; зусилля проточування $P=153$ Н; глибина проточування $t=1,4$ мм; подача під час проточування $s=0,12$ мм/об; швидкість проточування $V=245-260$ м/хв; діаметр оправи $d_o=28,5$ мм; діаметр обтискної втулки $D_{вт}=100$ мм; радіус заокруглення втулки $R_{вт}=4,5$ мм.

Визначено параметри НЗ після навивання: коефіцієнт усадки за висотою заготовки $\beta=0,97$, ширина $B_l=29,1$ мм; товщина $H_l=2,44$ мм; внутрішній діаметр спіралі $d_l=29 \pm 0,5$ мм, що підтверджує досягнуту точність за 7-м квалітетом і можливість навивання заготовок із зведеною висотою $b_{зв}=12$.

Економія операційного часу за рахунок зменшення працемісткості викінчувальних операцій становила 8%; економія матеріалу – 5%; зниження енерговитрат – 12%. Вибір раціональних технологічних схем навивання та параметрів устаткування з використанням розробленого алгоритму оптимізації дав змогу зменшити собівартість виготовлення НЗ підвищеної точності на 10-15%, а також значно підвищити надійність і довговічність одержуваних деталей.

Література:

1. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: дис. Док. Техн. наук: 05.08.02 – технологія машинобудування - Нац. Ун-т «Львівська політехніка». Львів, 2002. 425 с.
2. Бейко І.В. Задачі, методи та алгоритми оптимізації / І.В. Бейко, П.М. Зінько, О.Г. Наконечний. – Київ: ВПЦ Київський університет, 2012. – 800 с.

ТИПОВІ ЛОГІСТИЧНІ РІШЕННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ВИРОБНИЧИХ ЗАПАСІВ

Пітулей Л.Д., к.т.н., доц., Долішній Б. В., к.т.н., доц.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Промислова логістика закликає об'єднувати усі виробничі підрозділи підприємства в єдину систему. При цьому елементами логістичної системи на підприємстві вважають не лише склади, цехи, робочі дільниці, а також вантаж, тару, технологічний транспорт.

Відомо три логістичні моделі управління запасами: з фіксованим розміром замовлення, з фіксованою періодичністю виконання замовлення, з двома фіксованими рівнями - розміром і періодичністю замовлення, або Ss – модель [1].

Модель управління запасами з фіксованим розміром передбачає регулювання інтервалів між черговими поставками з метою недопущення перевищення нормативу запасу. При фіксованій періодичності виконання замовлень можна корегувати розміри партій поставок. Ss -модель дозволяє регулювати лише асортимент поставок, що також є актуальним для підприємства - споживача.

При рівномірному відпуску матеріалів внутрішнім споживачам загальні витрати по перебуванню вантажів на складі ($V_{скл}$) можна розрахувати таким чином:

$$V_{скл} = \frac{m_1 + m_n}{2} \times n \times C_{питом},$$

де m_1 - кількість матеріалів на складі на день надходження нової партії вантажу, в тонах;

m_n - обсяг матеріалів на n -добу;

n - тривалість періоду, днів;

$C_{питом}$ - питома собівартість зберігання і обробки одиниці матеріалу - однієї тони, в грн.

При нерівномірному відпуску вантажів зі складу загальні витрати по зберіганню слід визначати як суму витрат за окремі дні перебування матеріальних ресурсів на складах підприємства:

$$V_{скл} = V_{скл_1} + \dots + V_{скл_n}$$

де $V_{скл_1}$ - витрати по зберіганню матеріалів в перший день періоду, грн;

$V_{скл_n}$ - витрати по зберіганню матеріалів на останню добу періоду, грн.

Традиційна форма внутрішньовиробничого постачання заснована на тому, що матеріали, сировина, інструменти, запчастини та усі інші види матеріально-технічних ресурсів повинні в разі надходження на підприємство розміщуватися на складі відділу матеріально-технічного забезпечення, накопичуватися до потрібного рівня, проходити усі стадії складської обробки і лише потім переміщуватися до цехів або дільниць.

При такій формі виробничого постачання запаси відіграють роль буферу між зовнішніми поставками і заводськими споживачами, оскільки є резервом матеріалів на випадок порушення постачальниками зобов'язань. Якщо на підприємстві здійснюється традиційна форма внутрішньовиробничого постачання, то виникає необхідність в формуванні запасів сировини, матеріалів, напівфабрикатів і незавершених виробів.

Управління виробничими запасами є процесом підтримки фактичного рівня матеріальних ресурсів у заданому обсязі. Так, за методикою ДДБ (дубль двох бункерів) щодобовий запас на складі не може бути більшим за нормативну величину або меншим за суму страхової та підготовчої частин. Тому умовно вважається, що внутрішньовиробничу потребу в сировині та матеріалах формують за рахунок потокового запасу першого бункеру. В другому бункері знаходиться недоторканий запас, тобто його страхова та підготовча частини. Матеріали з другого бункеру послідовно переміщуються в перший бункер, а на їх місце надходять нові партії ресурсів.

Використання наведених логістичних моделей управління внутрішньовиробничими запасами є характерним для українських машинобудівних підприємств, оскільки актуальна на сьогоднішній день система планування потреб в матеріальних ресурсах (MRP) передбачає відсутність страхового запасу. Покладений в основу розробки системи MRP принцип відсутності страхового запасу не завжди може бути реалізований, оскільки в сучасних економічних умовах неминучі перебої в системі матеріально-технічного постачання.

Така операційна система є вираженням сучасної концепції промислової логістики, яка спрямована на розвиток всіх рівнів структурних підрозділів підприємства в межах інтеграції логістичних можливостей.

Література

1. Бауерсокс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок/ Д.Дж. Бауерсокс, Д.Дж. Клосс: [пер. с англ. Н.Н. Барышниковой, Б.С. Пинскера].- [2-е изд.]. – М : ЗАО «Олимп- Бизнес», 2008. – 640 с.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Пігулей Л.Д., к.т.н., доц., Лобур О.М., магістр

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Формування інформаційної системи промислового підприємства – складний та багатоплановий процес, в якому завдяки використанню сучасних інформаційних технологій і новітнього комп'ютерного забезпечення стає можливою координація всіх його структурних підрозділів.

Успішне функціонування будь-якого машинобудівного виробництва передбачає використання певної інформаційної інфраструктури, яка дає змогу збирати, обробляти та трансформувати інформацію, виходячи з конкретних потреб підприємства.

Ще кілька років тому основні проблеми, якими займалися розробники інформаційних логістичних систем, поставали в ідентифікації матеріальних потоків на виробництві. Під інформаційним забезпеченням фізичного логістичного процесу малася на увазі тільки супроводжувальна інформація[1]. Однак з розвитком та поширенням інформаційних логістичних систем на підприємствах з метою пошуку резервів у позавиробничій сфері за рахунок системного підходу до технологічних процесів виникла необхідність у їх вдосконаленні, що дає можливість органічно поєднувати та зводити в єдине ціле всі інтегровані логістичні підсистеми. Однак у таких підсистемах актуалізуються вимоги оперативного управління матеріальними потоками в режимі реального часу.

Для розв'язання логістичних задач широко використовуються пакети прикладних програм, які дають змогу отримати координацію дій на виробництві [2]. У загальній структурі автоматизованого управління виробництвом виділяють кілька ієрархічних рівнів.

На першому рівні - система планування ресурсів підприємства ERP (Enterprise Resource Planning). ERP системи працюють на різних комп'ютерних і мережових конфігураціях, зазвичай використовуючи базу даних, як сховище інформації.

На другому рівні знаходиться комп'ютерна система планування ресурсами виробництва MRP II, яка може створювати мережові графіки покрокового виробництва з використанням даних у режимі реального часу.

На третьому рівні використовуються MES системи (Manufacturing Execution System). MES розглядаються як проміжний крок між ERP і SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). MES збирає дані про управління матеріалами, продуктивність, незавершене виробництво та інші види діяльності.

На четвертому рівні ієрархії здійснюється збір даних та диспетчерський контроль за допомогою SCADA-системи програмних та апаратних елементів, що дозволяє здійснювати контроль технологічних процесів локально або в віддалених місцях; збирати та обробляти дані в режимі реального часу; безпосередньо взаємодіяти з пристроями та обладнанням завдяки програмному забезпеченню Human machine interface (HMI).

На п'ятому рівні знаходяться CNC-системи. З метою забезпечення ефективного управління інформацією про створюваний виріб та вирішення проблем спільного функціонування компонентів CAD різного призначення використовуються PDM-системи (Product Data Management). Від ефективності та якості функціонування цих систем у виробництві, якості управління проектними роботами, інтеграції CAD в загальну архітектуру автоматизованого проектно-виробничого середовища залежить ефективність самого виробництва та його здатність оперативно реагувати на вимоги сьогодення.

Література

1. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP / Р.Р. Загидуллин – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372с.

2. Качуровський В. Є. Інформаційна логістика / В. Є. Качуровський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 690 : Логістика. – С. 53-59. – Бібліографія: 3 назви.

АКТУАЛЬНІСТЬ КОНЦЕПЦІЇ НАЦІОКРАТІЇ МИКОЛИ СЦІБОРСЬКОГО

Пігулей Л.Д., к.т.н., доц., Чудаков В.О., магістр

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Значна частина проблем української економіки виникає через втручання в економічні процеси політичних чинників. Економічні стратегії або плани, які пропонуються урядом та окремими політичними силами, в більшості є прихованим лобіюванням інтересів бізнес-угруповань. Тому розроблення ефективної стратегії зростання української економіки можливе після очищення цього процесу від політизованого впливу тільки зусиллями компетентних фахівців.

Отже, є нагальна потреба в створенні експертного центру, до якого мають увійти спеціалісти окремих галузей та економічні аналітики.

Також існує необхідність у координації державних і недержавних структур, які здійснюють економічну політику. Їхні дії повинні бути узгодженими із затвердженою стратегією (як функціонують ради з економічного планування на Тайвані та в Південній Кореї). Ця ідея не нова. Така структура передбачалась в концепції української національної держави, розробленої ідеологом Організації Українських Націоналістів Миколою Сціборським. Ще в 1935 році в своїй праці «Націократія» він описав створення незалежного компетентного органу, який би об'єднував спеціалістів різних галузей у Вищу Господарську Раду [1]. Цей орган мав би розробляти пропозиції з розвитку економічної та соціальної сфер для парламенту та голови держави.

Концепція Націократії до сьогодні є орієнтиром для національного державотворення.

Аналоги вищезгаданої структури були в кожній із тринадцяти країн, вказаних Комісією Світового Банку на чолі з Нобелівським лауреатом в галузі економіки Майклом Спенсом, які протягом останніх 50 років здійснили швидкий стрибок від рівня бідних і слабо розвинених країн до держав заможних і сучасних. Для створення власної стратегії економічного зростання Україні доцільно було б звернути увагу на досвід саме цих країн.

Обов'язковим атрибутом для усіх цих держав, які вирвалися з економічного провалля, була наявність аналітичних і координаційних центрів, які напряду співпрацювали з вищою державною владою.

В Україні ж, наразі, відбувається зворотній процес. Спеціалісти, які володіють знаннями та системним мисленням, які могли б стати основою потужного аналітичного центру, залишаються незатребуваними в процесі розроблення стратегії економічного зростання та дефініцій послідовного національного виробничо-господарського курсу.

За прикладом Ірландії, займатися законотворенням та просуванням такого роду проектів мають фахівці, які певну кількість років пропрацювали в окремій галузі, а міністерства повинні функціонувати як виконавчий механізм. Уже зараз в Україні необхідно негайно формувати професійні середовища в різних галузях. Тому пріоритетом для державного фінансування мають бути освіта та наука. Лише за таких умов стратегія економічного зростання видатного українського діяча Миколи Сціборського може бути реалізованою в Україні.

Література

1. Сціборський М. Націократія / М. Сціборський.- Видавництво: Домінант, 2016. – 244с.

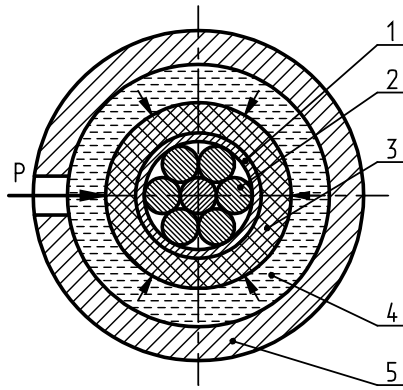
ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБТИСНЕННЯ КОНТАКТНИХ МЕТАЛЕВИХ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ СТРУМОПІДВЕДЕННЯ

**Повстяной О.Ю., д.т.н., професор; Редько Р.Г., к.т.н., доцент; Ткачук В.В.
д.т.н., професор**

Луцький національний технічний університет

Контактні з'єднання для струмопідведення знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки (фізика, електрохімія, металургія, машинобудування, електротехніка і т.д.). До них висуваються підвищені вимоги до властивостей, які пов'язані з передачею електроенергії без нагрівання та забезпеченням надійної роботи електротехнічних установок за рахунок створення міцних контактних з'єднань з відносно малим електричним опором. Це забезпечується конструкцією контактних з'єднань, створенням міцних металевих зв'язків при обтисненні та підбором струмопровідних матеріалів. Сфера застосування таких контактних з'єднань різноманітна, це від традиційної (електрообладнання, металургійні печі, гальванічні установки), так і спеціалізоване, що забезпечити проходження струму $I > 2000-10000$ А.

Для обтиснення таких контактних з'єднань необхідно враховувати ряд вимог: забезпечення рівномірності контактних металевих зв'язків за перерізом, збільшення площі контакту при обтисненні, забезпечення необхідної пористості (канали) для подачі охолоджуючого газу, можливість керування профілем обтискування контактних з'єднань тощо. Ці вимоги здатна комплексно забезпечити спеціалізована мехатронна система за рахунок радіально-ізостатичного пресування (рис.1).



*Рис.1. Загальна схема обтиснення контактних з'єднань:
1 – труба обтиснення; 2 – набита проволочка; 3 – зовнішній еластичний
вкладиш; 4 – робоча рідина; 5 – зовнішній вкладиш;
6 – корпус мехатронної системи*

Маючи чітко виражену номенклатуру контактних з'єднань і форми для них, можна здійснити групову технологію без заміни та розбирання мехатронної системи.

Для обтиснення таких контактних з'єднань та реалізації процесу радіального обтиснення кінців кабелю, що забезпечує проходження струму $I > 2000-10000\text{A}$ була застосоване спеціалізоване мехатронне обладнання, яке представлено на рис.2. Дана мехатронна система забезпечує можливість обтиснення контактних з'єднань з максимальними розмірами: зона обтиснення – до 250 мм, зовнішній діаметр – до 50 мм.



Рис.2. Загальний вигляд спеціалізованого обладнання

Моделлю обтиснених зразків була мідна труба діаметром 30 мм, заповнена мідними проволочками (рис.3). Тиск обтиснення становив 80 МПа в статичному режимі.

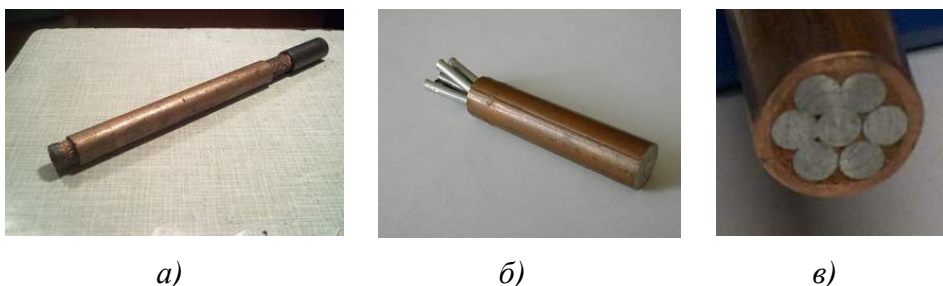


Рис.3. Дослідний зразок контактного з'єднання

Основною причиною втрати стійкості є величина щільності набивання мідної труби. Так, кругова форма перерізу мідної труби при набиванні менше 85% переходить в еліптичну, а потім труба сплющується, хоча напруги до моменту втрати стійкості далеко не досягають межі плинності.

Одним із заходів підвищення запасу стійкості мідної труби є збільшення її жорсткості за рахунок збільшення щільності набивання.

Тому створення нових технологій, обладнання та інструменту неможливе без глибокого вивчення закономірностей формування міцних металевих зв'язків на контактах, які визначають експлуатаційні властивості контактних з'єднань, енергосилові параметри радіального обтиснення та будуть основою для розробки нових конкурентоспроможних технологій, механотронного обладнання та спеціалізованого інструменту.

Література:

1. Povstyanou O., MacMillan A. (2021). Mechatronic system's permeable materials with controlled porosity. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 8(1), pp. C.45–C.49, doi: 10.21272/jes.2021.8(1).c6

ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ

Равська Н. С., д.т.н., професор, Корбут Є. В., к.т.н., доцент, Ковальова Л. І., к.т.н., доцент, Івановський О. А., к.т.н., доцент, Парненко В. С., к.т.н., ст. викладач, Родин Р. П., к.т.н., с.н.с
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»

Процес різання являє собою складний комплекс фізико-хімічних явищ. Вся сукупність явищ, що супроводжує процес різання, знаходячись в постійному зв'язку обумовлює умови протікання процесу. Знання їх механізму відкриває великі можливості ефективного вирішення задач з розробки та удосконалення всіх складових верстато-інструментальних систем, на яких здійснюється процес різання, а також управління ними на основі сучасного апаратно-програмного забезпечення.

Основною сучасних верстато-інструментальних систем є багатофункціональні верстати з ЧПК та інструмент, здатний на одному верстаті забезпечити виконання різноманітних видів обробки.

Досягнення високої ефективності використання верстато-інструментальних систем, подальший розвиток та удосконалення їх конструкцій є основною проблемою сьогодення.

Зважаючи, що інструмент в цих системах є найбільш гнучким елементом, підвищення ефективності використання верстато-інструментальних систем на даному етапі їх експлуатації здійснюється двома шляхами, а саме за рахунок:

- розробки нових та удосконалення існуючих конструкцій інструментів;

- оптимального управління процесом різання з використанням штучних нейронних мереж.

Реалізація цих напрямків підвищення ефективності багатofункціональних систем неможлива без врахування явищ, які супроводжують процес різання – тобто сучасної теорії різання [1], що розкриває їх механізм та взаємозв'язок. Такий підхід може бути здійснений моделюванням процесу різання з застосуванням методів евристичної самоорганізації, а саме алгоритмів метода групового врахування аргументів (МГВА) [2] та метода штучних нейронних мереж (МШНМ) [3].

В роботі на прикладах моделювання з застосуванням МГВА та МШНМ деяких видів процесу різання розглянуті шляхи підвищення ефективності верстато-інструментальних систем та надані рекомендації з удосконалення їх елементів.

З метою удосконалення існуючих конструкцій свердла одностороннього різання для свердління глибоких отворів в чавуні проведено моделювання цього процесу. Модель процесу пов'язує стійкість інструменту з конструктивними і геометричними параметрами, а також з режимами різання.

Аналіз моделі показав, що цей процес, головним чином, залежить від динамічних характеристик верстата та геометрії інструменту.

Удосконалення твердосплавних кінцевих фрез (ГОСТ 18372-72) для обробки аустенітних сталей типу 12Х18Н10Т з метою виключення пакетування стружки в канавках проводилось моделюванням з використанням модифікованого спрощеного алгоритму МГВА.

В результаті одержано модель в вигляді залежності стійкості від режимів різання та геометричних параметрів стружкових канавок різальної та робочої частин фрези. На основі аналізу моделі розроблені рекомендації з призначення геометрії стружкових канавок при різних режимах різання.

При розробці нової конструкції фрези з різнонаправленими зубцями для обробки сталевих заготовок моделюванням при зустрічному фрезеруванні одержані залежності складових сил різання (P_z , P_y та P_x) від швидкості різання, подачі на зуб та геометрії стружкових канавок.

Встановлено, що найбільший вплив на значення досліджуваних складових сили різання мають швидкість різання та подача на зуб. В залежності від напрямку зазначеної складової визначено вплив геометричних параметрів інструменту на відповідні складові.

За результатами досліджень дані рекомендації щодо підвищення ефективності процесу різання фрезами з різнонаправленими зубцями.

Було досліджено процес нарізання храпових коліс на зубофрезерному верстаті обкатними дисковими фасонними фрезами.

За результати моделювання цього процесу визначена залежність стійкості фрези від режимів різання, числа зубів та заднього кута. За результатами впливу цих параметрів на стійкість розроблені рекомендації з підвищення ефективності процесу різання цим інструментом.

Управління процесом різання на основі моделей не можливе, так як вони не враховують стан всієї системи. Управління такими процесами як різання

здійснюється штучними нейронними мережами (ШНМ). В той же час управління ними із-за великої кількості змінних стає неефективним.

Враховуючи спільність основних положень теорії самоорганізації ШНМ та алгоритмів МГВА виникає можливість заміни нейрона в кожному шарі ШНМ моделлю.

Така заміна значно підвищує ефективність управління процесом за рахунок скорочення часу на навчання ШНМ та підвищує точність управління.

Література:

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.

2. Ковалева Л.И. Основные положения алгоритма для моделирования процесса резания с учетом физических явлений, его сопровождающих. / Ковалева Л.И. Дюбнер Л.Г., Скрынник П.В., // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. ДДМА. – 2004. – №15. – с. 241-246.

3. Джимми У.Ки. Искусственные нейронные сети управления технологическими процессами. Часть 1. Control Engineering, №3(63), июль, 2016, с. 62-66.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ЕЛЕКТРОЛІТУ В ЕЛЕКТРОХІМІЧНІЙ КОМІРЦІ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

¹Роп'як Л. Я., *д.т.н., професор*, ¹Романів М. М., *аспірант*, ¹Шовкопляс М. В., *аспірант*, ²Малінін В. Ю., *аспірант*, ¹Здерко О. Р., *магістрант*

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

²Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

Основною задачею сучасного машинобудівного виробництва є забезпечення випуску конкурентноздатної продукції. Використання традиційних конструкційних матеріалів не забезпечує повною мірою задоволення зростаючих вимоги до стану робочих поверхонь деталей машин. У процесі експлуатації машин і механізмів зношується лише тонкий поверхневий шар деталей, які знаходяться в контакті під час тертя, що призводить до виходу з ладу виробу за незначної втрати розмірів. Для підвищення надійності та довговічності виробів раціональним є використання функціонально орієнтованих технологій для зміцнення деталей покриттями.

Серед низки традиційних способів нанесення металевих покриттів найбільш поширеним є електрохімічне хромування [1]. На тепер дослідники зосереджуються на розробленні електролітів для нанесення покриттів на основі тривалентного хрому замість шестивалентного хрому, який є токсичним, а також – технологій хромування в проточному електроліті [2, 3]. В останні роки також

інтенсивно проводяться дослідження, спрямовані на розроблення нових технологій формування оксидних покриттів – плазмово електролітичним (мікродуговим) оксидуванням [4], які забезпечують одержання зносостійких і корозійно тривких шарів на металах вентильної групи, оскільки обсяги використання алюмінієвих, магнієвих та титанових сплавів постійно зростають у різних галузях промисловості для виготовлення відповідальних деталей машин. Однак у літературі практично відсутні відомості щодо технологічних режимів нанесення покриттів у проточному електроліті, зокрема для хромування та плазмово електролітичного.

Мета роботи – дослідження руху електроліту в електрохімічній комірці для нанесення покриттів на зовнішню поверхню циліндричних деталей.

Для побудови 3D-моделі електрохімічної комірки для нанесення покриттів на зовнішню поверхню циліндричних деталей в проточному електроліті (рис. 1, б) спочатку створили 3D-моделі кожної деталі, а потім об'єднали їх у збірку, використовуючи навчальну версію SolidWorks. Після цього запустили додаток Flow Simulation для визначення швидкостей потоку електроліту, задавши початкові параметри, поверхні куди подається і звідки відводиться електроліт та виконали розрахунок. Після виконання розрахунку появляється додаткова вкладка із результатами. В ній знаходимо елемент траєкторія потоку та вибираємо необхідні нам технологічні параметри розрахунку(рис. 1, б). За результатами розрахунків можна створювати дво- або тривимірні траєкторії тощо.

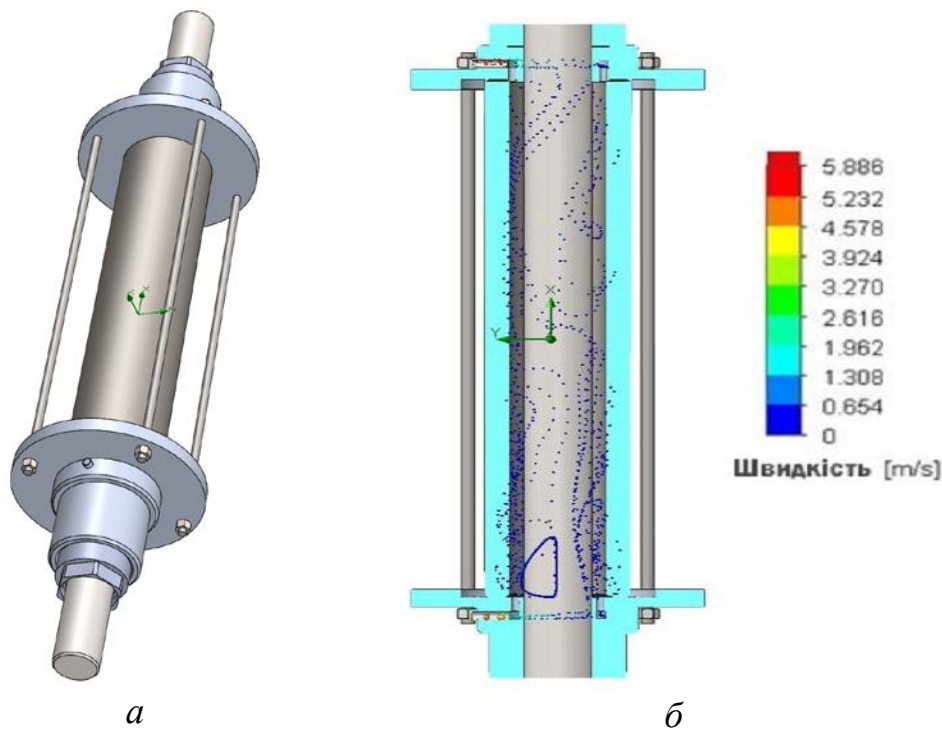


Рис.1. 3D-модель електрохімічної комірки для нанесення покриттів (а) та розподіл швидкостей потоку електроліту (б)

Таким чином, результати досліджень можуть слугувати основою для розробки конструкцій електрохімічних комірок і технологічних процесів нанесення хромових/оксидних покриттів на робочі поверхні циліндричних деталей машин.

Література:

1. Vinokurov, E.G., Burukhina, T.F., & Kuroshev, I.S. (2021). Ranking of metallic and non-metallic coatings in the electrochemical surface treatment sector. *Tsvetnye Metally*, 2021 (4), 54-58. <https://doi.org/10.17580/tsm.2021.04.09>
2. Ropyak, L., & Ostapovych, V. (2016). Optimization of process parameters of chrome plating for providing quality indicators of reciprocating pumps parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5), 50–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65719>
3. Заявка RU0002749954, МПК C25D7/04, C25D3/04. Установка для хромирования внутренних поверхностей деталей / Ларин О.В., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Ардашев Д.В. заявл. 18.11.2020, опубл. 21.06.2021. https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=RU328857573&_cid=P21-KYCUDJ-96450-1
4. Aliofkhazraei, M., Macdonald, D.D., Matykina, E., Parfenov, E.V., Egorin, V.S., Curran, J.A., Troughton, S.C., Sinebryukhov, S.L., Gnedenkov, S.V., Lampke, T., Simchen, F., & Nabavi, H.F. (2021). Review of plasma electrolytic oxidation of titanium substrates: Mechanism, properties, applications and limitations. *Applied Surface Science Advances*, 5, art. no. 100121. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100121>

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ З'ЄДНАННЯ “ПОРОДУРІЙНІВНА ВСТАВКА – ШАРОШКА” ЗА РАХУНОК ЗМІНИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ПАРАМЕТРІВ

¹Сліпчук А.М., к.т.н., доцент, ²Яким Р. С., д.т.н., професор.

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка

Якість закріплення вставних твердосплавних зубків в тілі шарошки є одним з головних чинників, що визначає експлуатаційні показники бурових доліт [1, 2]. В долотобудуванні накопичений значний досвід з розроблення високоефективних конструкцій вставного породоруйнівного оснащення, поміж якого особливо виділяється напрям з розроблення комбінованих, біметалевих конструкцій вставних породоруйнівних елементів. Відомо, що такі конструкції породоруйнівних вставок з твердосплавними зубками визначають можливості з'єднання та дає змогу суттєво підвищити надійність та жорсткість з'єднання з тілом породоруйнівного інструменту [3, 4]. Тому вдосконалення конструкції

породоруйнівних вставок [5] є актуальним завданням що має вагоме практичне значення для долотобудування.

В основу наукового дослідження поставлене завдання створення породоруйнівної вставки породоруйнівного елемента для шарошкових бурових доліт. Завдання, що ставилося, розв'язували з позицій конструкторських методів, орієнтованих на підвищення надійності з'єднання породоруйнівної вставки з тілом породоруйнівного інструменту – шарошки бурового долота. Для цього поставлено завдання щодо забезпечення сприятливих умов раціонального розподілу контактних напружень у спряжених поверхнях «твердосплавна вставка – втулка – шарошка». Для забезпечення необхідної жорсткості кріплення твердосплавного зубка здійснено шляхом моделювання і виділення раціональних конструктивних параметрів. Зважаючи на те, що сьогодні в долотобудуванні застосовуються єдині конструкторсько-технологічні підходи до підготовки виробництва та реалізації технологічних процесів виготовлення, при розробці нової конструкції породоруйнівного елемента керувалися критеріями що забезпечують технологічність виготовлення породоруйнівного оснащення шарошок доліт.

Аналізом результатів численних 3-D моделювань різних варіантів конструкцій вибрано оптимальний прототип породоруйнівної вставки породоруйнівного інструменту.

Розроблена конструкція [6] відрізняється тим, що втулка виконана у вигляді конуса з кутом при вершині 120° , а спряжені поверхні твірних малої ступені хвостовика та відповідної поверхні твірної внутрішнього отвору втулки виконані з конусністю, значення якої є в межах від 1:30 до 1:50, що взаємно орієнтована у різні сторони, а спряження між великим та малим діаметрами хвостовика твердосплавного елемента, виконані у вигляді галтелі, що включає радіус в межах $2 \div 3$ мм та кут у вершині основи хвостовика великого діаметра $\beta = 160 - 165^\circ$, відповідна спряжена з малим діаметром хвостовика твердосплавного елемента внутрішня поверхня втулки.

Висновки. Розроблена конструкція породоруйнівної вставки забезпечує раціональні параметри розподілу контактних напружень у ділянках спряжень „твердосплавний елемент – втулка – тіло породоруйнівного інструменту”, необхідну жорсткість системи „породоруйнівний інструмент – породоруйнівна вставка – порода”, створює можливості підвищення міцності з'єднання „породоруйнівна вставка – тіло породоруйнівного інструменту”, надійне прилягання спряжених контактуючих поверхонь та унеможливорює випадання твердосплавного елемента з втулки, підвищення опірності крихкому руйнуванню твердосплавного елемента зубка в небезпечному перерізі, покращення щільності прилягання спряжених поверхонь „хвостовик зубка – втулка” при технологічних операціях складання породоруйнівної вставки.

Література:

1. Сліпчук А. М., Яким Р. С. Вплив технологічних параметрів складання з'єднання «зубок-шарошка» на якість вставного твердосплавного оснащення шарошок бурових доліт. Вісник Національного технічного університету «ХПІ».

Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 3 (5). С. 3-9. doi: 10.20998/2413-4295.2020.01.01.

2. Сліпчук А. М. Яким Р. С. Підвищення якості технології пресування твердосплавних породоруйнівних зубків у шарошки бурових доліт. Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. праць. Харків, 2017. Вип. 7 (1229). С. 110–117. doi:10.20998/2413-4295.2017.07.15.

3. Yong, D., Chen, M., Jin, Y., Yakun, Z., Daiwu, Z., Lu, Y. Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016. № 36. P. 117–123.

4. Pandey P. A., Mukhopadhyay K., Chattopadhyaya S. Reliability analysis and failure rate evaluation for critical subsystems of the dragline. Journal of the brazilian society of mechanical sciences and engineering. 2018. № 40 (2). doi:10.1007/s40430-018-1016-9.

5. Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Ю.Д. Петрина, Р.С.Яким, Т.Б. Пасинович (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u 2008 09040; заявл. 10.10.08; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2. – 4 с.

6. Пат. 123442 Україна, МПК E21B 10/46 (2006.01). Породоруйнівна вставка породоруйнівного елемента / Яким Р. С., Сліпчук А. М., Махоркін Є. М., Бобришов А.-О. А. (Україна).; заявник і патентовласник Національний університет "Львівська Політехніка",. – № а 2018 7381; заявл. 02.07.18; опубл. 07.04.2021, Бюл. № 2. – 4 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТНИХ ДОРІГ

Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., ст. викладач
Національний університет “Львівська політехніка”

Серед відомих транспортних засобів значне місце відводиться підвісним канатним системам, особливо в регіонах з складними рельєфними умовами. Канатні системи використовуються для транспортування людей (крісельні дороги, канатні витяги, гондольні дороги) та вантажів (лісо-транспортні установки, кабельні крани, вантажні дороги та ін.). В деяких випадках альтернативи канатному транспорту взагалі немає, тому що прокладка автомобільних доріг або неможлива взагалі, або веде за собою значні витрати і збільшує протяжність доріг в декілька разів.

Надійність роботи канатних систем залежить від досконалості та рівня гнучкості функціональних вузлів і визначається способом зміни

експлуатаційних параметрів в залежності від умов їх роботи, схемою їх компонування та принципами взаємодії із основними вузлами системи.

Однак першочерговим завданням є забезпечення безпеки роботи витягів та вибір оптимальних параметрів, які дозволять досягти довговічності основних елементів.

Задачі що виникають при проектуванні і експлуатації канатних доріг та оцінки їх надійності обумовлюються проблемою недостатнього забезпечення гірськолижних схилів відповідним обладнанням, активним застосуванням канатних доріг, що були в експлуатації, відсутністю нормативної бази, що регулювали би питання проектування, обстеження, повторного встановлення та експлуатації даних доріг.

Дослідженню та проектуванню складних канатних систем завжди приділялася значна увага. Розв'язок таких задач можливий лише при наявності сучасних методів інженерних розрахунків, що базуються на детальному аналізі динаміки всього робочого циклу канатних систем, які відповідають реальним умовам їх навантаження.

Для розробки нових механізмів чи устаткувань необхідно вибрати раціональні схеми запропонованих варіантів, встановити зв'язки між окремими елементами системи, визначити зовнішні сили, що діють на систему, а також закономірності взаємодії окремих елементів між собою.

Вдосконалення існуючих пасажирських канатних доріг та проектування нових можна здійснювати на основі їх комп'ютерного моделювання.

Важливою задачею є розробка методики для визначення зусиль з врахуванням динамічних навантажень, а також оптимальний вибір конструктивних параметрів пасажирських доріг.

Вибір оптимальних параметрів пасажирських канатних доріг та використання удосконалених елементів канатних доріг дозволить підвищити надійність їх роботи, а також забезпечить зменшення витрат на експлуатацію, модернізацію та виконання монтажних-демонтажних робіт.

Література:

1. Беркман М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. Подвесные канатные дороги. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
2. Мартинців М.П., Адамовський М.Г., Сологуб Б.В. Особливості розрахунку систем із замкнутим рухомим тягово-несним канатом. // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Вип. 19.8. – Львів: НЛТУ України. 2009. – с. 146-152.
3. Мартинців М.П., Сологуб Б.В., Матійшин М.В. Динаміка та міцність підвісних канатних систем. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 188 с.
4. Сологуб Б.В., Данило Я.Я. Підвісна канатна крісельна дорога. Патент на корисну модель №97581 від 25.03.2015 р. 5 с.
5. Сологуб Б.В., Данило Я.Я., Ланець О.В. Аналіз навантажень при роботі спареної канатної дороги з перевантажувальним механізмом. // Науково-технічний та виробничий журнал "Підйомно-транспортна техніка" № 3(59) 2018 р. м. Одеса. с. 36-50.

КОРЕГУВАННЯ СХЕМ РІЗАННЯ БАГАТОПРОХІДНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ НА ОСНОВІ ЇХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Тарас І.П., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Аналіз відомих схем багатопрохідної обробки нарізей показав, що їх використання для конічних нарізей потребує корегування для досягнення більш рівномірного навантаження на ріжучі кромки інструмента.

Технологічні схеми багатопрохідної обробки циліндричних нарізей розглянуті у [1]. Для проходів припуск розділяється за геометричною або арифметичною прогресією, для досягнення постійного перерізу стружки або більш рівномірного навантаження на ріжучу кромку. При використанні для виготовлення нарізі схеми, при якій в різанні задіяні обидві ріжучі кромки різця одночасно для циліндричної нарізі умови різання обох кромок однакові завдяки симетричній формі впадини. Конічна нарізь позбавлена такої симетрії, тому довжина робочої частини передньої і задньої кромок, а значить, і площі стружки на цих кромках відрізняються.

Для двох типів конічних нарізей з трикутним профілем – першого, бісектриса кута профілю якого перпендикулярна до осі конуса, та другого, бісектриса кута профілю якого перпендикулярна до твірної конуса, було визначено, що, на відміну від циліндричних нарізей, кути нахилу гелікоїдів, які утворюють такі нарізі, відрізняються не тільки знаком кута нахилу до площини, нормальної до їх осей, але і значеннями [2].

Розглянуто теоретичну форму впадини конічної нарізі з бісектрисою кута профілю, перпендикулярною до осі конуса. Проведені розрахунки показали, що вершини різця розміщені на прямій, нахилений до нормалі до осі нарізі під кутом γ узгоджують площі стружки на різних кромках.

$$\tan \gamma = \left(\tan \frac{\beta}{2} \right)^2 \tan \varphi,$$

де використано загальноприйняті позначення кутів.

Корегування технологічної схеми багатопрохідної обробки для конічних нарізей на основі їх геометричних особливостей дає можливість досягнути більш рівномірного навантаження на ріжучі кромки інструмента.

Література:

1. Tool and manufacturing engineers handbook / W H Cubberly; Ramon Bakerjian; Society of Manufacturing Engineers.- Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1989.
2. Тарас І. П., Пригоровська Т.О. Дослідження геометричних особливостей конічних нарізей - *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, № 1(48) (2020), с. 16 – 22.

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВИБУХОВОГО ШТАМПУВАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ

Третяк В. В., к.т.н., доцент, Мезенцева О. О., Горець М. В.
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

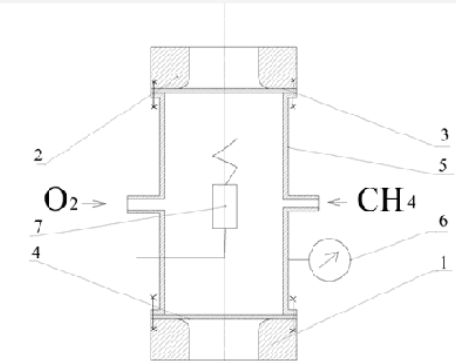
Метод газовибухового штампування – досить простий і ефективний метод для штампування листових заготовок. Метод дозволяє штампувати складні листові заготовки без використання пресового обладнання. Треба відзначити, що найбільш ефективно його можна використовувати в одиничному і малосерійному виробництвах, а також у навчальному процесі.

Процес газовибухового штампування оснований на перетворенні хімічної енергії палива на роботу пластичної деформації матеріалу оброблюваної заготовки за допомогою того, що вивільняється хімічна енергія палива під час екзотермічної реакції окиснення пального окиснювачем.

В ХАІ розроблено пристрої для штампування листових і трубчастих заготовок, які використовуються у науковому і навчальному процесі. Для розрахунків технологічних параметрів в об'єктно-орієнтованому середовищі розроблено програмний комплекс. На рис. 1 подано одну з екранних форм програмного комплексу для розрахунку технологічних параметрів у пристрої для газовибухового штампування з використанням принципу симетрії.

Вхідні параметри

<input type="checkbox"/> Коефіцієнт енергії на вигин по ребру перетяжки - Kt	1,1
<input type="checkbox"/> Радіус закруглення ребра перетяжки - r0, мм	3
<input type="checkbox"/> Коефіцієнт подолання тертя - Kt	1,3
<input type="checkbox"/> Коефіцієнт першої ступеневої апроксимації кривої зміцнення матеріалу - beta	327000000
<input type="checkbox"/> Коефіцієнт другої ступеневої апроксимації кривої зміцнення матеріалу - alpha	0,24
<input type="checkbox"/> Діаметр заготовки - D0, м	0,8
<input type="checkbox"/> Діаметр фланця - Dфл, м	0,7
<input type="checkbox"/> Діаметр отвору матриці - Dm, м	0,6
<input checked="" type="checkbox"/> Товщина заготовки - delta, м	0,0001
<input type="checkbox"/> Кінцеве прогинання - f, м	0,2
<input type="checkbox"/> Глибина проштамповки - h, м	0,2
Матеріал заготовки	Д16Т
<input type="checkbox"/> Границя текучості матеріалу заготовки - sigmaз, МПа	280
<input type="checkbox"/> Коефіцієнт динамічності - Kd	1,81
<input type="checkbox"/> Густина матеріалу - rho	2780
<input type="checkbox"/> Універсальна газова стала - R, Дж/К кг	8480
<input type="checkbox"/> Температура початкової суміші - T0, К	293
<input type="checkbox"/> Об'єм камери пристрою - V м3	0,0045
<input type="checkbox"/> Теплота згорання стехіометричної суміші - Hu, Дж/кг	1130000
<input type="checkbox"/> Молекулярна маса кисня - Mo	32
<input type="checkbox"/> Молекулярна маса метану - Mсн	16
<input type="checkbox"/> Показник адіабати продуктів вибуху - K	1,22
<input type="checkbox"/> Показник початкової суміші - Ko	1,31
<input type="checkbox"/> Атмосферний тиск - Pн, Па	100000
<input type="checkbox"/> Радіус заготовки - Rз, м	0,2
<input type="checkbox"/> Густина метану - rhoсн	0,67
<input type="checkbox"/> Швидкість детонаційної хвилі - D, м/с	2540



Пристрій для газовибухового штампування листових деталей

1 - нижня матриця; 2 - верхня матриця;
3 - верхня заготовка; 4 - нижня заготовка;
5 - вибухова камера; 6 - манометр;
7 - пристрій для ініціювання

Вихідні параметри

<input type="checkbox"/> Необхідний тиск - q, МПа	0,28
<input type="checkbox"/> Оцінний тиск - p1, МПа	0,07
<input type="checkbox"/> Початковий тиск - p0, МПа	39177,0
<input type="checkbox"/> Енергія пристрою, що запасається - Wz, Дж	444,9
<input type="checkbox"/> Енергія деформування фланця - Afl, Дж	116,0
<input type="checkbox"/> Енергія формування сферичного сегмента - Asf, Дж	2794,0
<input type="checkbox"/> Повна робота деформування - A, Дж	2910,0
<input checked="" type="checkbox"/> ККД пристрою - nu	0,21

Рис 1. Екранна форма для розрахунку технологічних параметрів методу газовибухового штампування

Екзотермічні реакції окиснення горючих газів залежно від характеристик пального, окиснювача, умов ініціації реакції, геометричних характеристик реакційної судини можуть проходити з різною швидкістю та істотно відрізнятися за своїм характером. У зв'язку з цим такі реакції зазвичай підрозділяють на власне горіння (ламінарне або турбулентне) і детонаційне горіння (розривне) суміші горючого газу з окиснювачем.

Процеси горіння зазвичай, відбуваються із змінною швидкістю, тоді як швидкість вибуху залежить від зовнішніх збурень у набагато меншому ступені.

Між горінням і вибухом (детонацією) існує строга кількісна межа: швидкість горіння завжди менше, а швидкість детонації завжди більше, ніж швидкість звуку в початковій (що не прореагувала) суміші.

Горіння за відомих критичних умов може стрибкоподібно переходити в детонацію. Таким чином, детонація є найефективнішою формою здійснення реакції окиснення. Тому саме детонаційний режим горіння використовується в переважній більшості технологічних установок. Для оцінювання адекватності математичних моделей в розрахунках технологічних параметрів розроблено програмний модуль для проведення регресійного аналізу даних.

На рис. 2. наведено табличні й графічні дані розрахунків регресійного аналізу експериментальних даних залежності двох змінних: коефіцієнта корисної дії (ККД) пристрою при деформуванні тонколистової алюмінієвої заготовки від її товщини.



Рис 2. Фрагменти екранної форми для проведення регресійного аналізу даних і конкретні результати моделювання

Поданий програмний комплекс може бути ефективно використаний для наукових розробок. Також він ефективно використовується у навчальному процесі для курсового і дипломного проектування.

Література:

1. Методы расчета параметров импульсных технологий с использованием объектно-ориентированных пакетов прикладных программ [Текст] : учеб. пособие по лаб. практикуму / В. В. Третьяк, А. М. Гринченко, А. В. Онопченко и др. – Харьков. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2015. – 56 с.

ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ І ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПОКРИТТЯМ

¹Хейфець М. Л., *д.т.н., професор*, ²Колмаков А. Г., *член-кореспондент РАН*,
³Клименко С. А., *член-кореспондент НАН України*, ³Копейкіна М. Ю., *к.т.н.,
ст. науковий співробітник*

¹Інститут прикладної фізики НАН Білорусі

²Інститут металургії та матеріалознавства ім. О. О. Байкова РАН

³Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійність та довговічність наплавлених та напилених покриттів [1, 2] на деталях машин визначаються кінетикою процесів, що протікають як безпосередньо у покритті, так і на межі розділу та у поверхневому шарі матеріалу основи. Зносостійкість та когезійно-адгезійна міцність покриттів залежить від деформації ε , її швидкості $\dot{\varepsilon}$ та температури на різних етапах формування виробу з урахуванням технологічної спадковості [3–5].

Послідовне наближення властивостей та геометричної форми деталі з покриттям до об'єкта, що відповідає вимогам службового призначення, характеризується загальним фактичним технологічним уточненням

$$\Omega_{\phi} = \frac{\omega_3}{\omega_d},$$

де ω_3 – характеристика заготовки після нанесення покриття; ω_d – характеристика деталі з покриттям після механічної обробки.

Відповідна, передавальна функція технологічної системи є величиною, зворотною до Ω_{ϕ} .

Партія оброблюваних деталей отримує уточнення щодо аналізованої характеристики на етапах формування покриття, механічної обробки та експлуатації.

$$\Omega_{\phi} = \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \Omega_3 = \prod_{i=1}^3 \Omega_i.$$

Для отримання придатних деталей, що відповідають вимогам службового призначення за характеристикою якості, необхідно визначити величину допуску на цю характеристику

$$\delta_d \geq \frac{\omega_3}{\Omega_{\Pi}} = \frac{\omega_3}{\prod_{i=1}^3 \Omega_i} = \omega_3 \zeta = \omega_3 \cdot \prod_{i=1}^3 \zeta_i.$$

Оскільки службове призначення деталей визначається поруч характеристик якості, система повинна забезпечувати відповідність готової деталі за всіма показниками. У зв'язку з тим, що така єдина система відсутня і необхідно виробляти послідовне наближення технологічне деталі за окремими характеристиками, пропускаючи деталі через різні технологічні системи для отримання характеристик якості. На кожному етапі технологічного уточнення за зміни характеристик якості змінюється деформаційний параметр покриття. На етапі формування покриття це усадка, на етапі механічної обробки – пружна та пружно-пластична деформація під впливом термосилових умов процесу різання,

на етапі експлуатації – пружно-пластична деформація під впливом умов контактного навантаження. Найвагоміші деформаційні зміни у покритті відбуваються на етапі механічної обробки – етапі найбільшого термобаричного навантаження. Зменшити його рівень та мінімізувати деформаційні явища можна шляхом зміни організації процесу різання та енергоємності руйнування покриття. Організація процесу обробки повинна враховувати структурні особливості покриттів, наявність технологічно успадкованих факторів та експлуатаційні властивості деталей із покриттям [1, 5–7].

Так, механічна обробка покриттів може вдосконалюватися шляхом реалізації процесу різання з додаткового ступеня руху інструменту за рахунок зміни його кінематики, зокрема використанням ріжучих інструментів ротаційного типу та накладанням примусових коливань на ріжучий інструмент, шляхом введення в зону різання додаткових видів енергії, зокрема теплової в процесах обробки з попереднім нагріванням шару, що зрізується, і акустичної в процесах вібраційного різання з високочастотними коливаннями інструменту. Ці гібридні технології характеризуються цілою низкою специфічних закономірностей, а режими їх реалізації повинні враховувати особливості структури та властивостей наплавлених або напилених покриттів. Вони розширюють технологічні можливості з механічної обробки деталей з покриттями як частини підвищення продуктивності процесу і працездатності ріжучих інструментів, так і в забезпеченні заданого стану поверхневого шару деталей, що оптимально відповідає умовам експлуатаційного навантаження.

Література:

1. Рыжов Э. В., Клименко С. А., Гуцаленко О. Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – К. : Наук. думка, 1994. – 181 с.
2. Формирование газотермических покрытий при производстве деталей / С. А. Клименко, Л. Г. Полонский, М. Ю. Харламов и др. – Мн. : Беларус. наука, 2020. – 416 с.
3. Технологічні основи забезпечення якості деталей машин / О. С. Васил'єв, А. М. Дальський, С. А. Клименко та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 219 с.
4. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С. А. Чижик, П. А. Витязь, М. Л. Хейфец и др. – Мн. : Беларус. наука, 2019. – 248 с.
5. Обработка износостойких покрытий / Л. М. Кожуро, Ж. А. Мрочек, М. Л. Хейфец и др. – Мн. : Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.
6. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др. – К. : ИСМ НАН Украины, 2011. – 353 с.
7. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко, В. С. Ивашко, С. А. Клименко, М. Л. Хейфец. – Мн. : Беларус. наука, 2013. – 464 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОПОР ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Четвержук Т.І., к.т.н., доцент; Полінкевич Р.М. к.т.н., доцент; Редько О.І., к.т.н., доцент

Луцький національний технічний університет

Температура є одним з найважливіших параметрів багатьох технологічних процесів сучасного виробництва, а точність температурних вимірювань в значній мірі впливає на техніко-економічні показники виробництва.

Методи діагностування за параметрами теплових процесів, засновані на вимірюванні тепловіддачі з поверхонь тіл в навколишнє середовище способом конвекції і випромінювання (сумарна тепловіддача визначається коефіцієнтом тепловіддачі), знаходить все більше поширення при діагностуванні верстатів та їх вузлів. Тому велика увага надається методам дистанційного і безконтактного контролю температури.

Експериментальне дослідження температурних характеристик шпиндельних підшипників і швидкісних шпиндельних вузлів виконується на спеціальному стенді в умовах автоматизації управління експериментом, зняття вимірювань, опрацювання і узагальнення наукових результатів.

При дослідженні температури використовуються датчики температури ТСМ-6097 (термометр опору мідний). Цей датчик виконаний у вигляді мідного термоопору і використовує властивості ланцюга, в який він включений, змінюючи свій опір від температури. Використовується схема з одиночним датчиком (Рис. 1).

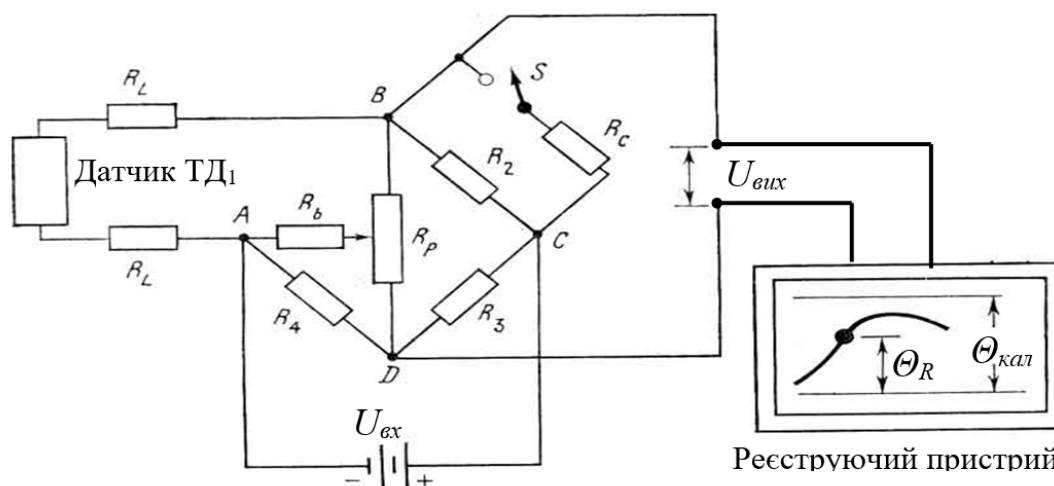


Рис. 1. Схема вимірювання температури

Тарування датчика проводиться (рис. 2.) по ртутному термометру з ціною поділки $0,10\text{ }^\circ\text{C}$ в діапазоні $20\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$ при цьому опір датчика ТД1 змінюється від $47,5\text{ }\Omega$ до $55\text{ }\Omega$. В якості компенсуючих опорів (R_2 , R_3 , R_4) в плечах моста використовуються такі ж самі датчики температури ТСМ-6097, що дозволяють забезпечити компенсацію зміни температури навколишнього середовища. Використовується стабілізоване джерело живлення $U_{ex} = 48\text{ В}$.

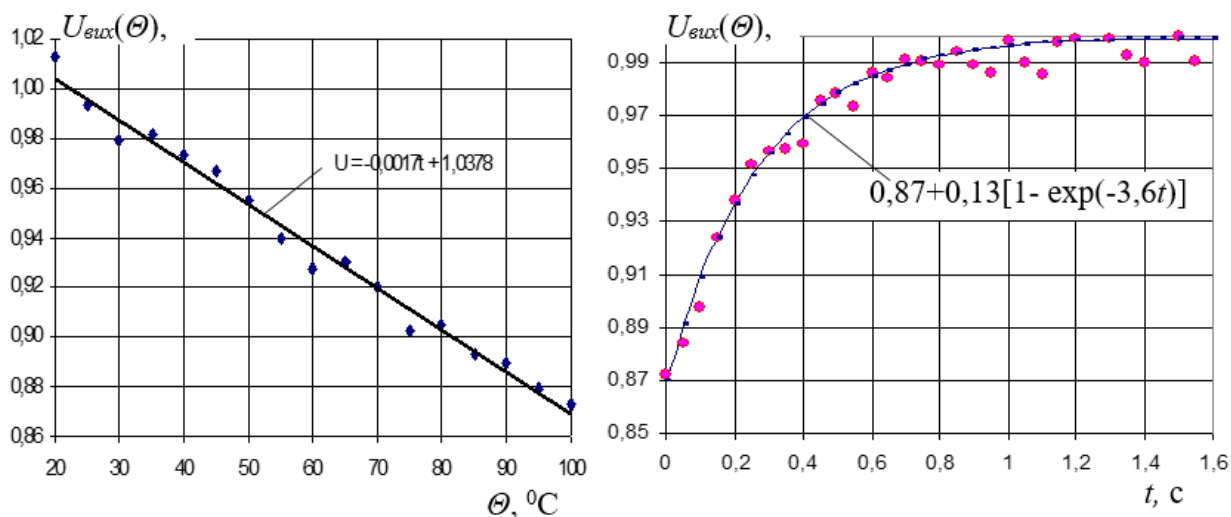


Рис. 2. Тарувальна (а) і часова (б) характеристики датчика температури:
 ● – експериментальна; - – апроксимована

Результати вимірювань при калібруванні і апроксимована лінійна залежність $U_{вих}(\Theta)$ надані на рис. 2а. Оскільки досліджуваний процес є швидкодіючий, то важливою характеристикою термодатчика є його постійна часу. Вона вимірюється за графіком зміни $U_{вих}(t)$ при зміні температури Θ від 20 до 1000 °С через $\Delta\Theta = 50$ °С (рис. 2б). Термодатчик погрузався у воду з відповідною температурою, при цьому в автоматизованому режимі фіксується час, за який рівень $U_{вих}(t)$ встановлювався відповідно значенню на рис. 2а. По апроксимації цієї залежності отриманий показник експоненти $\alpha = 3,6 \text{ с}^{-1}$, та відповідно постійна часу датчика температури $ТТД = 1/\alpha = 0,28 \text{ с}$. Цей час лімітує швидкодію датчика температури, а вимір енергетичних характеристик повинен проводитись при сталому режимі не раніше 1,2с. після завершення перехідних процесів в підшипниках шпиндельного вузла верстата. Температура в опорі коректується за показом температурного датчика ТД1 з урахуванням його інерційності (рис. 2б).

Швидкохідність шпиндельних вузлів обмежується в основному припустимими втратами потужності на тертя та максимальною температурою нагріву мастила, а тому контроль температури опор шпиндельного вузла дає змогу не занижувати його швидкісні параметри та унеможливити непередбачені поломки механізмів.

Література:

1. Перетяка Н. О., Боряк К. Ф. / Вдосконалення методу теплового контролю шпиндельних опор настільних вертикально-свердильних верстатів. Коллективная монография трудов международной конференции «Наука, исследования, развитие / Science, research, development, Belgrade (Serbia), т. 12, 2018, с. 25-33.

ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНІ ПРОЦЕСИ НА ГРАФІТОВОМУ КАТОДІ ПРИ ФОРМУВАННІ НАНОСТРУКТУР У ВАКУУМНІЙ ДУЗІ

Широкий Ю.В., к.т.н., доцент, Руденко Н.В., к.т.н., доцент

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

В роботі розглянуто теоретичну модель ерозійних процесів у плямах катоду під час вакуумного розряду. У наведеній моделі докладно розглянуто джерела та стоки тепла в електродних плямах.

Баланс енергії в елементарному обсязі плями (рис. 1) напишемо у вигляді диференційного рівняння:

$$C_v [T(x, y, z, t)] \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} + C_v [T(x, y, z, t)] V_{sp} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial y} = C_v [T(x, y, z, t)] \varepsilon [T(x, y, z, t)] \Delta T(x, y, z, t) +$$

$$C_v [T(x, y, z, t)] V_{ev,f} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} + \rho [T(x, y, z, t)] j^2(x, y, z, t) + \frac{V j_{i,e} \mu_{i,e}}{C_v [T(x, y, z, t)]} \frac{\partial E}{\partial x}, \quad (1)$$

Розглянемо граничні умови для цього рівняння які будуть враховувати поверхневе джерело тепла та зміну інтенсивності поверхневого джерела тепла внаслідок взаємо випромінювання плазма-електрод, а також відведення тепла з випаровуванням металом:

1) Так при $t < T_i$:

$$-\frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} = \frac{Q_1}{\lambda} - \frac{Q_{ev}}{\lambda} + \frac{\sigma}{\lambda} [b_p \sigma T_p^4 - b T^4(0, y, z, t)] - \frac{Q_{can}}{\lambda}, \quad (2)$$

причому якщо розмір плями буде $\sqrt{z^2 + (y - V_p t)^2} \leq R$, то $Q_1 = Q_s$,

а якщо $\sqrt{z^2 + (y - V_p t)^2} > R$, то $Q_1 = 0$;

де R – радіус плями.

2) А при $t > T_l$ $Q = 0$, граничні умови на поверхні x_e, y_s, y_e, z_s, z_e можна записати в наступному вигляді:

$$\text{Якщо } t = T_l = t_s, \text{ тоді } x_e = \sqrt{6at_s}, \quad y_s = -R - \sqrt{6at_s}, \quad y_e = R + \sqrt{6at_s} + V_p \tau_p,$$

$$z_s = -R - \sqrt{at_s}, \quad z_e = R + \sqrt{at_s} \quad \text{а значить:}$$

$$T(x_e, y, z, t) = T(x, y_s, z, t) = T(x, y_e, z, t) = T(x, y, z_s, t) = T(x, y, z_e, t) = T_s \quad (3)$$

Область простору електрода з координатами $x_e = 0, y_s, y_e, z_s, z_e$ показана на рис 1.

Ці координати обмежують область простору, в якій розглядається задача теплопровідності. При цьому початкові умови будуть:

$$t = 0, T(x, y, z, 0) = T_s, \quad (4)$$

Характер дії об'ємного джерела тепла визначається рішенням рівняння Лапласа з подальшим обчисленням густини струму в даній точці електрода та інтенсивності об'ємного джерела.

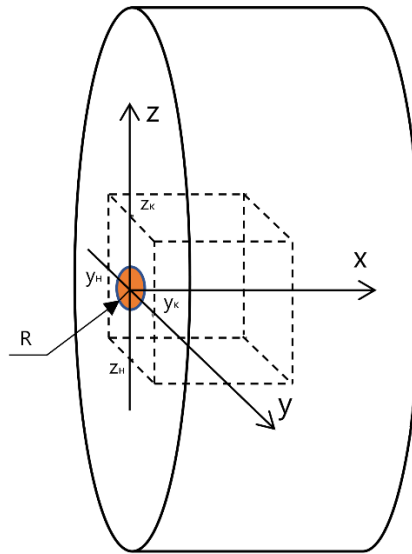


Рис.1. Схема частки катоду поблизу електродної плями

Рішення рівняння теплопровідності (3) дозволить визначити температурне поле поблизу плями на електроді, а інтегрування швидкості випаровування на поверхні електрода за подвоєний час її життя, дасть кількість випареної маси:

$$M_{ev} = \int_{z_s}^{z_e} \int_{y_s}^{y_e} \int_0^{2t_l} V_{ev.f} [T(0, y, z, t)] dz dy dt, \quad (5)$$

При експериментальних дослідженнях складу ерозії практично у всіх режимах розряду з електродною плямою спостерігаються викиди рідкого металу у вигляді крапель [1]. Але при використанні графітових електродів викид матеріалу проходить у вигляді кластерів [2]. Теоретичні роботи по ерозії розглядають цілу низку варіантів викиду металу [3, 4]. Виходячи з цього, умовою викиду рідкої фази слід вважати умову, коли тиск створений силами, що викидають метал, перевищує тиск створений силами, які утримують його, з урахуванням їх напрямків. При цьому коефіцієнт ерозії для електродної плями визначається як відношення випарюваної маси M_{ev} до величини заряду, що переноситься у плямі. Величину заряду визначимо як:

$$q_{\Sigma} = \int_{z_s}^{z_e} \int_{y_s}^{y_e} \int_0^{2t_l} j(0, y, z, t) dz dy dt, \quad (6)$$

де $j(0, y, z, t) = j_{en}$, при $\sqrt{z^2 + (y - V_p t)^2} > R$.

Тоді коефіцієнти ерозії знаходимо як:

$$k_1 = M_{ev} / q_{\Sigma}, \quad (7)$$

Для перевірки граничних значень технологічних параметрів отримання наноструктур у вакуумній дузі було розглянуто тримірну теоретичну модель ерозійних процесів у плямах електродів під час вакуумного розряду. Для перевірки адекватності моделі було проведено розрахунки для графітового катоду. Отримано залежність коефіцієнта ерозії від часу життя плями та щільності току на катоді. Визначено, що при щільності струму більше 10^{11} А/м² збільшується вірогідність появи викиду матеріалу у вигляді кластерів, що буде перешкоджати появі рівномірних наноструктур. Залежності коефіцієнта ерозії від часу життя було отримано як для стаціонарної плями так и для рухомої. Отримані залежності про суттєве зменшення коефіцієнту ерозії при підвищенні швидкості плям. Отримані теоретичні значення по щільності струму співпадають за порядком з відомими експериментальними значеннями [1, 5]. Що свідчить про адекватність моделі та можливості її використання для визначення критичних значень технологічних параметрів інших матеріалів електродів.

Література

1. Костюк, Г.И. Параметры катодных и анодных пятен в технологических плазменных устройствах (эксперимент) / Г.И. Костюк, Ю.В. Широкий, А.Н. Костюк, И.В. Леонова // Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2013, – № 60. – С.155–164.
2. Barendolts, S. A. Effect of the Nanostructured Layer Thickness on the Dynamics of Cathode Spots on Tungsten, / S. A. Barendolts, V. G. Mesyats, M. M. Tsventoukh, S. Kajita, D. Hwangbo and N. Ohno // in IEEE Transactions on Plasma Science. – 2018. – №46 (11). – P. 4044–4050.
3. Широкий, Ю.В. Моделирование дугового розряда на мідному катоді для генерації наноструктур / Ю.В. Широкий, Г. І. Костюк // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології, збірник наукових праць – Харків : Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", 2021. – Вип. 91 С.62-77
4. Rao, L. Vacuum arc velocity and erosion rate measurements on nanostructured plasma and HVOF spray coatings. / L. Rao, R. J Munz and J.- L. Meunier, // Journal of Physics D: Applied Physics – 2007. – №14 (40). – P. 4192-4201.
5. Beilis, I. Cathode Spot Jets. Velocity and Ion Current. In: Plasma and Spot Phenomena in Electrical Arcs. Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics. – 2020. – P. 113.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ЧЕРЕЗ МЕХАНІЗМИ ТРАНСКОРДОННОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

Шкіца Л.Є., д. т. н., професор

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Одним із пріоритетів державної політики у сфері вищої освіти є інтеграція до Європейського простору вищої освіти і наукових досліджень. Розвиток транскордонного співробітництва є важливим об'єктом сучасної регіональної політики та ключовим пріоритетом політики сусідства Європейського Союзу, який сприяє ефективній та взаємовигідній співпраці прикордонних регіонів шляхом реалізації спільних проєктів; обміну досвідом та кращими практиками з країнами - партнерами в різних сферах для вирішення спільних проблем розвитку. Євроінтеграційні реформи у сфері освіти, науки та в інших сферах економіки і суспільного життя відкривають нові можливості перед університетами, які сприяють розвитку інноваційної інфраструктури та розширенню мережі регіональних центрів трансферу технологій.

Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу (ІФНТУНГ) в рамках Спільної Операційної Програми Румунія – Україна із 2020 року реалізується проєкт «Ro-Ua Транскордонний академічний розвиток для досліджень та інновацій» із загальним бюджетом 293 640 Євро. Партнерами ІФНТУНГ у виконанні проєкту є Технічний Університет Клуж-Напока - Північний Університетський Центр Бая-Маре та румунська громадська організація «Академічна організація для досліджень, інновацій та професійного розвитку». Проєкт передбачає створення середовища для спілкування між українськими та румунськими університетами, неурядовими організаціями та регіональними компаніями для поєднання науково-дослідного та інноваційного потенціалу дослідників та реальних потреб регіональних компаній, для покращення обміну досвідом, для забезпечення можливостей співпраці над інноваціями.

Основними результатами діяльності є: створення Центру інноваційного розвитку – оснащеного сучасними цифровими засобами виробництва та проектування при технічному університеті, який дасть можливість студентам, дослідникам, винахідникам реалізовувати власні інноваційні проєкти; створення румунсько-української спільноти дослідників та інноваторів із діючою базою даних для організації спільної роботи; видання посібників та рекомендацій для використання новітніх технологій; формування нових навчальних курсів для студентів різних спеціальностей, що дозволить посилити практичну складову підготовки молодих спеціалістів технічних спеціальностей.

З метою підвищення рівня інноваційного розвитку регіону запропоновано створити Центр інноваційного розвитку на базі технічного університету, як елемент інноваційної інфраструктури відповідно до Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року, який дозволить залучати до виконання спільних інноваційних проєктів студентів, науковців різних спеціальностей та закладів вищої освіти, а також зацікавить учнівську молодь у

отриманні технічної освіти задля втілення їх творчих задумів; посилить практичну складову підготовки молодих спеціалістів технічних спеціальностей; може збільшити число інноваційних підприємців за рахунок пропонованої допомоги у стартовому розвитку власного бізнесу.

Створений Центр інноваційного розвитку (ЦІР) – це поєднання кількох складових: виробнича майстерня з ЧПК-верстатами та верстаками із ручним інструментом; коворкінг-зона у вигляді конференц-зали; інформаційна система із діючою базою даних для організації спільної роботи; команда висококваліфікованих фахівців – дослідників та практиків. Така лабораторія дасть змогу дослідникам та студентам університету створювати інноваційні продукти самостійно, а також буде тестом моделі проектно-орієнтованої технічної освіти.

Викладачі та студенти ІФНТУНГ відвідали партнерський університет та передові румунські підприємства для обміну кращими практиками та проведення студентської сесії наукових комунікацій. Колеги партнерського ЗВО ознайомили із досвідом організації навчальних лабораторій та впровадженням інновацій в навчальний процес, спільно відвідали передові румунські підприємства. Обмін досвідом кращих практик дав можливість практично ознайомитись з організацією новітнього машинобудівного виробництва на базі сучасних верстатів із ЧПК та особливостями виробництва електричного обладнання, налагодити міжособистісні партнерські зв'язки з академічною спільнотою університету для подальшої реалізації спільних наукових проектів.

Студенти представили можливості новоствореного Центру інноваційного розвитку при ІФНТУНГ для реалізації студентських проектів та ознайомились із доробком румунських студентів, реалізованим із використанням сучасних систем автоматизованого проектування, засобів віртуальної реальності та верстатів із ЧПК.

Проведення спільних он-лайн семінарів за участі викладачів та студентів із двох країн, які проводяться систематично, підсилює комунікаційне середовище, а комплекс проведених заходів сприятиме формуванню міжнародних команд для реалізації реальних інноваційних проектів.

Результати, отримані під час реалізації міжнародного грантового проекту сприятимуть удосконаленню компетентностей дослідників та студентів у галузі сучасних технологій, покращать якість студентських проектів, реалізованих на базі використання нових технологій, дозволять дослідникам створити експериментальну модель за мінімальний час після появи ідеї, збільшать кількість спільних науково-дослідних заходів підприємств та університету.

ВПЛИВ СПОСОБУ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ

Шуляр І.О., Кустов В.В., Вірстюк А.Б.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

e-mail: ira.shuliar@gmail.com

Головним критерієм оцінки роботоздатності газотермічних напилених покриттів є міцність їх зчеплення з основою – поверхнею деталі, на яку їх наносять. Перед напиленням, поверхню піддають процесу спеціальної підготовки: обробки, з метою формування на ній шорсткого рельєфу і властивостей, що сукупно полегшує взаємодію матеріалів покриття і основи, забезпечуючи надійність зчеплення між ними. Вважається що підготовка поверхні перед напиленням є найбільш ефективним засобом підвищення міцності зчеплення газотермічних покриттів з основою. Способи підготовки поверхні за видами основної дії поділяють на механічні, хімічні і фізичні [1].

В роботі, застосовуючи вказану класифікацію, було досліджено вплив на міцність зчеплення напилених покриттів таких методів підготовки поверхні: нарізування «рваної» нарізі (механічний спосіб), хімічне травлення (хімічний спосіб) та нанесення підшару з різних матеріалів (фізичний спосіб). Нарізування нарізі проводилися на циліндричних зразках на токарно-гвинторізному верстаті за відомою технологією [2] з оптимальними параметрами одержуваних різьб з висотою профілю різьби $h=0,25$ мм і кроком $p=0,5$ мм. За рахунок утворення розвинутої поверхні забезпечувались досить значні показники міцності зчеплення з нею напиленого шару покриття. До недоліків цього методу підготовки необхідно віднести зниження втомної міцності основного матеріалу на 20-30 %; нетехнологічність процесу для площинних деталей; обмеженість застосування даного способу для загартованих деталей.

При хімічному методі обробки [3] було вивчено травлення зразків в розчинах азотної кислоти різної концентрації (7%, 15%, 40%). Досліди показали, що цим способом утворюється на поверхні мікрорельєф з великою кількістю гострих виступів, які сприяють міцному зчепленню покриття з основою. Однак, як показали наступні випробування, сила зчеплення напилених покриттів з основою була нижчою ніж у попередньому способі підготовки, що пояснюється, головним чином, наявністю після травлення на поверхні основи залишків продуктів реакції з розчином кислоти, повне усунення яких вимагає додаткових операцій і спряжено із значними труднощами.

Для нанесення підшарів використовувався вдосконалений спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ), який здійснювався на базі спеціальної віброустановки [4]. При електроіскровому легуванні, за рахунок електричних розрядів, відбувається процес направлено переносу матеріалу електрода на поверхню зразка. Підшар, який формується цим видом обробки, міцно з'єднаний з основою і характеризується розвинутою шорсткою поверхнею з регульованою

висотою нерівності в межах 0,05...0,5 мм. Матеріалом підшару в дослідах була нержавіюча сталь Х18Н10Т.

Напилення покриттів на дослідні зразки здійснювалось методом електродугової металізації за допомогою апарата ЕМ-6. Як матеріал покриття використовували нержавіючу сталь марки 06Х19Н9Т у вигляді дротів діаметром 2 мм. Режими напилення: дистанція напилення $L = 100$ мм, швидкість подачі дротів $V_s = 1$ м/хв., тиск розпилюючого повітря $P = 0,5$ МПа. Зразки циліндричної форми виготовлялись із сталі 45. Міцність зчеплення покриття з основою визначалась за методом зрізу.

Внаслідок проведених експериментів було отримано такі результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Вплив способу підготовки поверхні на міцність зчеплення газотермічних покриттів з основою

Спосіб підготовки поверхні основи	Нарізування «рваної» нарізі	Хімічне травлення	ЕІЛ
Значення міцності зчеплення покриття з основою, кг/см ²	175	58	123

Одержані величини сили зчеплення напилених покриттів при виконанні ЕІЛ дещо менше ніж при підготовці поверхні методом «рваної» різьби. Однак ЕІЛ технологічно простіше здійснювати при обробці плоских деталей, деталей складної конфігурації, при обробці загартованих поверхонь. Можливість нанесення підшарів з регульованою величиною шорсткості та, практично, з будь-якого електропровідного матеріалу, додатково підвищує перспективність використання ЕІЛ як методу підготовки поверхні під покриття напиленням.

Література:

1. Куприянов И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И.Л. Куприянов, М. А. Геллер. – Минск: Наука и техника, 1990. – 176с.
2. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. - М.: Машиностроение, 1989. – 479с.
3. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление / под. ред. В.С.Степанина, Н.Г. Шестеркина. М: Машиностроение, 1985. – 240 с.
4. Пат. 67165 Україна, МПК В 05 D 3/14. Спосіб виготовлення поверхні деталей перед газотермічним напиленням покриттів / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як, А. К. Смаглюк; заявник і патентовласник: Кустов В. В. - № u201107081; завл. 06.06.11; опубл. 10.02.12, Бюл. №3.

ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ЛАЗЕРНОЇ АБЛЯЦІЇ НАНОСЕКУНДНОЇ ТРИВАЛОСТІ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ МЕТАЛОРІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Ягьяєв Е.Е., канд. техн. наук, доцент, Акімов С.Н., аспірант

Кримський інженерно-педагогічний університет імені Февзі Якубова

Процес обробки виробів супроводжується неминучим зношуванням ріжучого інструменту. Відбувається часткове зношування або повне руйнування ріжучих кромки. При цьому працездатність ріжучого інструменту залежить від різних методів поверхневої зміцнюючої обробки для підвищення зносостійкості контактних майданчиків [1].

Шляхи вирішення цієї проблеми полягає у своєчасній заміні, переточенні або комплексному відновленні ріжучого інструменту.

Заміна різального інструменту на новий у разі застосування змінних платівок є економічно виправданою та доцільною. Заміна на новий інструмент кінцевих фрез, свердлів, мітчиків призведе до підвищення собівартості виробів. На виробництві при виникненні зносу проводиться переточка відновлення ріжучих кромки інструменту. Стійкість інструменту після переточування у кілька разів поступається новому із захисним покриттям.

Одним з перспективних методів підвищення стійкості різального інструменту після переточування є генерація наноструктурного покриття на поверхні контактних майданчиків при лазерній абляції на повітрі і в рідині [2].

Модифікування поверхні ріжучого інструменту виконували імпульсною лазерною абляцією на повітрі та рідині. Експериментальні дослідження модифікування поверхні методом лазерної абляції були проведені на експериментальній установці «Fmark-100 NS» с волоконним ітербієвим лазером, IPG Photonics, робоча довжина хвилі випромінювання – 1,064 мкм, максимальна потужність – 100 Вт, тривалість імпульсів 4 – 200 нс., частота імпульсів 16 - 500кГц.

Режими лазерної абляції поверхні пластин токарних різців у питній воді щодо експериментальних досліджень представлені у роботі [2].

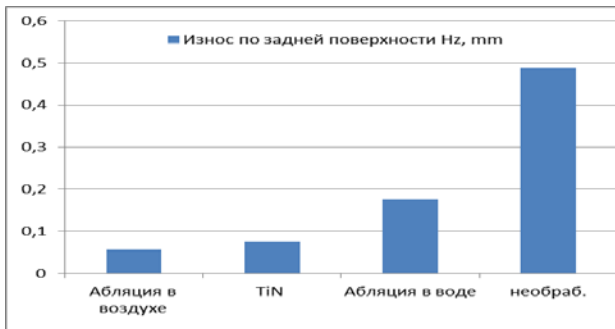
Експерименти дослідження стійкості відновленого ріжучого інструменту після переточування, модифікуванням поверхні лазерною абляцією, проводилися на токарному верстаті SAMAT – 400M. Токарний верстат оснащений частотним перетворювачем для керування частотою обертання шпинделя. Подача мастильно-охолоджувальної рідини здійснюється за технологією мінімального мастила.

Режими різання при проведенні експериментальних досліджень на стійкість представлені в таблиці 1, матеріал пластин HSS (1.3343 / S6-5-2 DIN) оброблюваний матеріал Steel 1045, COTC масло I30.

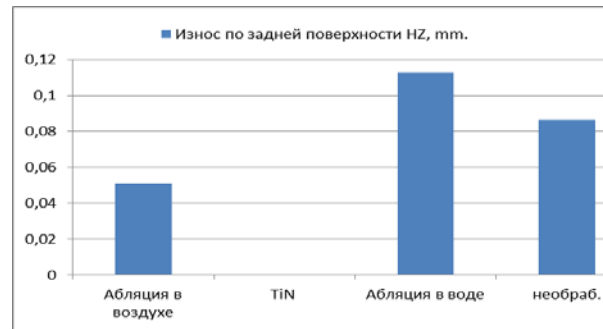
Процес різання супроводжується зносом та наростоутворенням на поверхні ріжучого інструменту. Аналіз результатів експериментальних досліджень, отриманих при механічній обробці дослідних зразків, дозволив отримати гістограми зношування по задній поверхні ріжучого інструменту та величині наросту при різних швидкостях різання (рис. 1,2).

Таблиця 1. Режими механічної обробки

№	Глибина різання h , мм	Швидкість обробки V , м/хв	Подача S мм/об	Час обробки $t_{обр.}$, хв
1	0,5	50	0,2	30
2	0,5	70	0,2	8

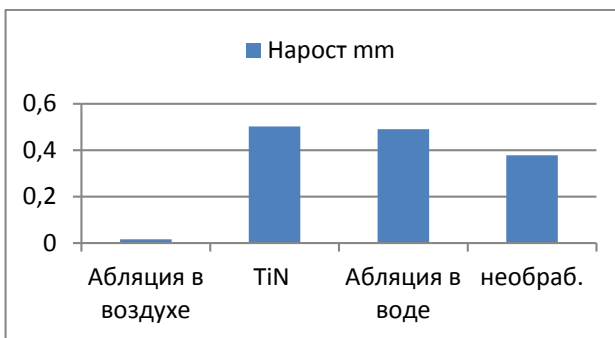


$V=50$ м/мин

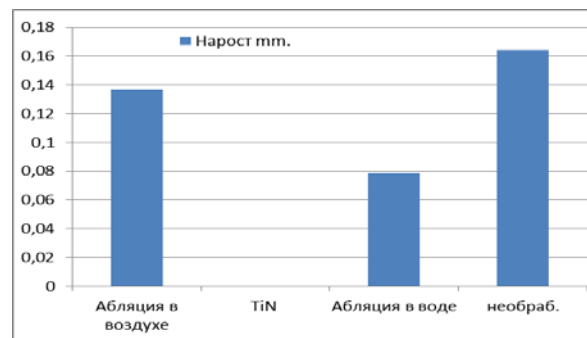


$V=70$ м/мин

Рис.1. Гістограма зношування по задній поверхні ріжучого інструменту в залежності від виду модифікації



$V=50$ м/мин



$V=70$ м/мин

Рис.2. Гістограма утворення наросту на поверхні ріжучого інструменту в залежності від виду модифікації

Застосування імпульсної лазерної абляції наносекундної тривалості на повітрі та в рідині можна використовувати для зміни поверхні ріжучого інструмента як засіб підвищення його стійкості.

Література:

1. А. С. Верещака / Нанорозмірні багатошарово-композиційні покриття для підвищення зносостійкості та працездатності твердосплавних кінцевих фрез / А. С. Верещака, А. А. Верещака, Ю. І. Бубликов, М. Г. Оганян // Різання та інструменти в технологічних системах. – 2014. – Вип. 84. – С. 26-42.
2. Yagyaev Elmar and Akimov Seran. (2020). Improvement of high-speed steel cutting tool production technology using the method of nanostructure generation by laser ablation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 889. 012031. 10.1088/1757-899X/889/1/012031.

ДЕЯКІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН З МЕХАТРОННИХ МОДУЛІВ

*Якимчук М.В., д.т.н., професор, Риженко Є.С., к.політ.н.
Національний університет харчових технологій, ДП «Фесто»*

Враховуючи останні кризові явища в економіці та результати аналізу перспектив розвитку пакувального обладнання, можна стверджувати, що однією з основних вимог сьогодення є реалізація системи швидкого переналаштування, яка полягає в можливості забезпечення зміни технологічного процесу на рівні програмного забезпечення. Реалізація таких вимог можлива шляхом впровадження функцій зміни координат позиціонування робочих органів та контролю кінематичних і динамічних параметрів їх роботи. Задовольнити такі вимоги тільки методиками модульного проектування машин практично не можливо. В конструкції пакувального обладнання розрізняють три основних системи: механічну, електричну та апаратно-програмну, а з розвитком електронних засобів, структура сучасного пакувального обладнання базуються на спільному використанні компонентів різної фізичної природи.

Аналіз літературних та інформаційних джерел [1,2] стосовно мехатронних модулів пакувальних машин показав, що цілісної науково-обґрунтованої методології їх формування не існує. Автори дослідження зазначають, що концепція створення наукових основ формування мехатронних модулів для пакувальних машин передбачає застосування нового погляду на технічний об'єкт як на достатньо складну систему. Для такої концепції запропоновано більш точний термін визначення мехатронного модуля: **мехатронний модуль** - цілісна технічна системи, яка є конструктивно і функціонально закінченим самостійним виробом, має автоматизовану систему керування з гнучким програмним забезпеченням зміни технологічного процесу роботи робочих органів та зворотній зв'язок у вигляді використання різних типів датчиків, які забезпечують можливість сприймання інформації про зміну характеристик зовнішнього середовища, характеризується конструктивно визначеними уніфікованими каналами механічного, енергетичного та інформаційного зв'язку для синергетичного з'єднання з іншими мехатронними модулями на основі створення однотипних функціональних мехатронних модулів можна формувати кластери даних модулів.

Послідовність формування мехатронних систем з використанням запропонованих визначень, наведена на рисунку 1.

Альтернатива вибору функціональних модулів для пакувальних машин з сформованих функціональних кластерів передбачає вибір конструкцій, які найбільшою мірою задовольняють критерії виконання основних функцій. Для перерахованих кластерів функціональних модулів на основі аналізу технічних завдань для їх створення визначено основні критерії їх вибору [3,4]. За основні критерії, на основі метода експертних оцінок, було прийнято: максимальне навантаження функціонального модуля (K1); максимальна швидкість функціонального модуля (K2); точність реалізації позиціонування робочих ланок (K3);

економічність виконання основної функції (K4); можливість переналаштування функціонального модуля (K5). Основними конструкторськими відмінностями всіх функціональних модулів у кожному кластері є використання різних груп приводів виконавчих пристроїв.

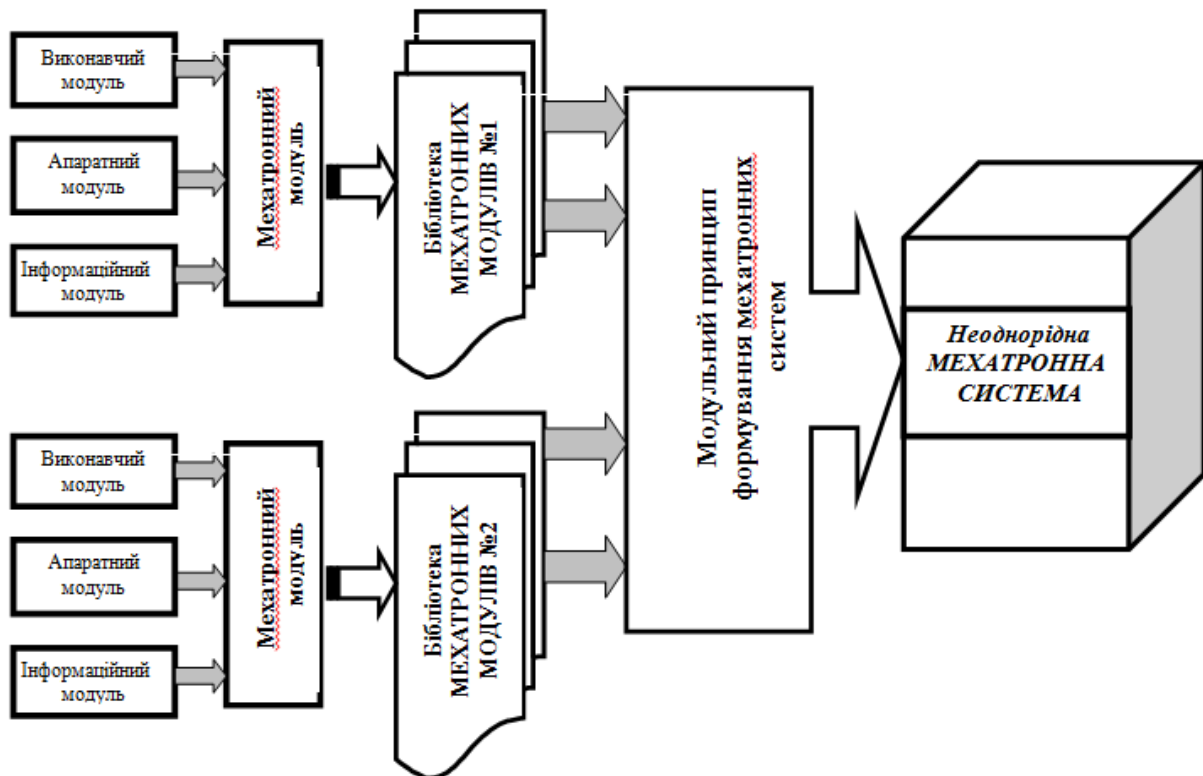


Рис.1. Послідовність формування неоднорідної мехатронної системи

До таких приводів відносять: пневматичний привод (П1); електричний сервопривод (П2); лінійний привод (П3); електричний сервопривод з пристроями перетворення обертального руху вала електродвигуна в поступальний рух обочого органу з пасовою передачею (П4 та П5) або передачею гвинт-гайка (П6).

Результати порівняльного оцінювання відносних пріоритетів реалізацій мехатронних модулів піднімання зведеного до 3D графіка (рис. 2).

Величини значущості конструкцій мехатронних модулів піднімання було розраховано, як суму доданків вагомості або пріоритетності критеріїв на відповідні значущості характеристик мехатронних модулів відносно цих критеріїв:

$$R_{П1} = \sum_{j=1}^N \beta_j^k \beta_i^a (K_j)$$

Для пошуку оптимальних варіантів характеристик мехатронних модулів піднімання була побудована діаграма Парето (рис.3).

Висновки: За результатами аналізу діаграми Парето можна зробити висновок, що пошукова множина отриманих рішень з урахуванням коефіцієнтів значущості, які базуються на заданих пріоритетах між вибраними критеріями знаходиться в межах чотирьох типів функціональних модулів піднімання. Методика послідовності аналізу їх конструкції передбачає на першому етапі розгляд модулів з лінійним приводом; на другому – з електричним сервоприводом

поступального рух робочого органу з зубчатою пасовою передачею; на третьому – з електричним сервопривод поступального рух робочого органу з передачею гвинт-гайка; на четвертому – з пневматичним.

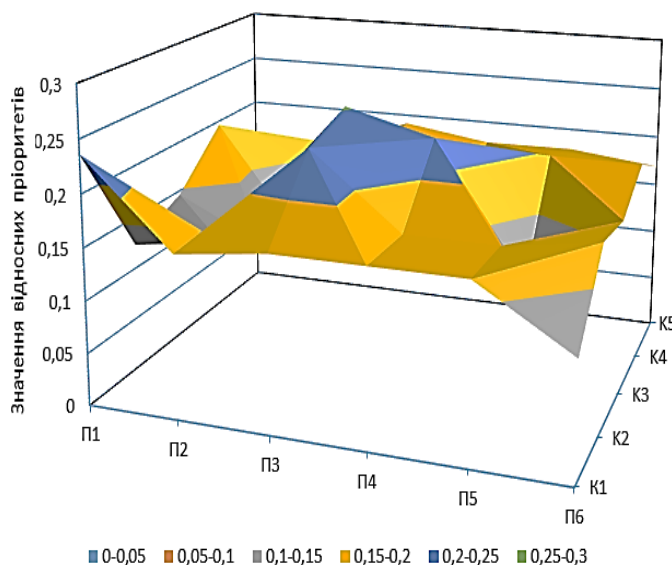


Рис.2. Графік критеріальної оцінки конструкцій мехатронних модулів піднімання з різними видами приводів



Рис.3. Діаграма Парето вибору оптимального варіанту мехатронного модуля для технологічної операції піднімання

Література

1. Дубовой В. М. Моделирование та оптимізація систем: підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., А.В.Усов А. В.] –Вінниця : ПП ТД «Еднльвейс», 2017. – 804 с.
2. Колодин И.М. , Волошина Л.В. Модульный принцип создания новой техники в машино – и приборостроении. – К.: Укр.НИИНТИ, 1982. – 51 с.
3. Агрегатно – модульная система средств автоматизации механосборки изделий приборостроения АСАМС: Каталог – С.: НИИтехприбор, 1984. – 53с.
4. Гавва О.М., Беспалько А.П., Воячко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання: Підручник. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСВІТЛЕННЯ ОПТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

¹І. В. Яценко, *д.т.н., професор*, ²В. С. Антонюк, *д.т.н., професор*,

¹В. А. Ващенко, *д.т.н., професор*, ¹Є. М. Семенчук

¹Черкаський державний технологічний університет

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Оскільки сучасні оптико-електронні прилади складаються з великої кількості оптичних елементів (лінзи, пластини, призми тощо), то проходження світла через кожну їх поверхню супроводжується відбиванням 4...5 % світлового потоку, що впливає на якість зображення [1].

Для зменшення відбивання світлового потоку та підвищення якості зображення [2–5] здійснюють так зване просвітлення оптики шляхом нанесення на поверхні оптичних елементів тонких плівок з показником заломлення n_n , меншим, ніж у оптичного скла n_0 ($n_n < n_0$).

При відбиванні світла від меж розділу повітря-плівка та плівка-скло виникає інтерференція відбитих променів.

Товщину плівки δ , показники заломлення скла n_0 та плівки n_n підбирають так, щоб відбиті хвилі гасили одна одну (Рис 1).

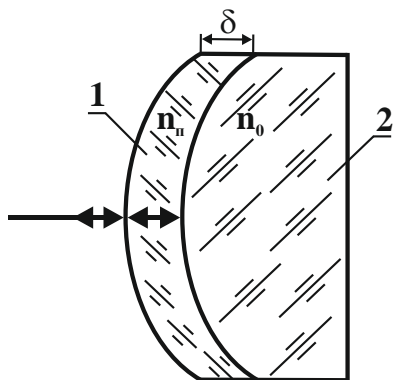


Рис. 1. Оптичний елемент з просвітлюючою плівкою:
1 – просвітлююча плівка;
2 – елемент з оптичного скла

Для цього амплітуди хвиль повинні бути рівними, а оптична різниця ходу $\Delta = (m + 1/2)\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$; λ – довжина хвилі). Оскільки $n_0 > n_n > 1$, то втрата півхвилі відбувається на обох поверхнях.

Тому, умова інтерференційного мінімуму (світло падає нормально) виглядає як: $2n_n\delta = (m + 1/2)\lambda$. На практиці зазвичай приймають $m = 0$, тоді $n_n\delta = 1/4\lambda$.

Як показує практика [2], при експлуатації у екстремальних умовах (наприклад, підвищені температури нагріву, зовнішні тиски, агресивні середовища тощо) оптичні елементи з вказаними плівками швидко виходять з ладу (розтріскуються, відшаровуються тощо), що призводить до погіршення техніко-експлуатаційних характеристик приладів [6, 7].

Замість вказаних просвітлюючих плівок пропонується отримувати просвітлюючі шари на поверхні оптичних елементів з силікатного скла (К8, К108, К208 тощо) шляхом фінішної електронно-променевої обробки [8, 9].

Запропонований метод фінішної електронно-променевої обробки полягає у формуванні модифікованих шарів в оптичному склі з коефіцієнтом заломлення

меншим, ніж у вихідному матеріалі за допомогою рухомого електронного променя з керованими параметрами [10, 11].

В результаті проведених експериментальних досліджень (параметри: струм променя – $I_l = 150 \dots 350$ мА; прискорююча напруга – $V_y = 6 \dots 8$ кВ; відстань до оброблюваної поверхні – $l = 4 \cdot 10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$ м; швидкість переміщення променя – $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м/с; довжина хвилі $\lambda = 0,55$ мкм; $T_0 = 300$ К) за допомогою рентгенівської рефлектометрії [12] встановлено, що на глибину до $h_{ш} = 350$ нм від поверхні модифікований шар має впорядковану мікроструктуру, яка наближена до кварцового скла, коефіцієнт заломлення $n_{ш}$ якого менший, ніж у вихідного скла (табл. 1).

Таблиця 1. Коефіцієнт заломлення модифікованих шарів різної товщини ($h_{ш}$, нм) у оптичному склі

Оптичне скло	Коефіцієнти заломлення $n_0, n_{ш}$	
	Вихідний матеріал n_0	Модифікований шар $n_{ш}$
К8	1,540	1,32...1,4, для $h_{ш} = 70 \dots 350$ нм
К108	1,516	1,29...1,43 для $h_{ш} = 40 \dots 310$ нм
К208	1,497	1,25...1,37 для $h_{ш} = 25 \dots 290$ нм

Таким чином, регулюючи керовані параметри електронного променя можна формувати на поверхні оптичного скла (К8, К108, К208 та ін.) модифіковані шари товщиною $h_{ш} = 25 \dots 350$ нм, що мають вже коефіцієнт заломлення у 1,1...1,2 разу менший, ніж у вихідного оптичного матеріалу, що є нормальним для елементної бази інтегральної та волоконної оптики, мікрооптики [7, 8].

Як показують експериментальні дослідження, підвищені температури нагріву аж до T_m (T_m – максимальна температура поверхні скла, при якій скло переходить у рідкий стан (наприклад, для розглядуваного скла (К8, К108, К208) $T_m = 1300 \dots 1400$ К не руйнують вказані модифіковані шари на розглядуваному оптичному склі [10, 11].

При цьому перевищення вказаних температур призводить до інтенсивного поверхневого випаровування, значної деформації розплаву, наслідком чого є порушення площинності та геометричної форми оптичних елементів. Коефіцієнт заломлення цих шарів збільшується не більше, ніж у 1,05...1,07 рази, тобто залишається меншим, ніж у вихідного оптичного матеріалу.

Таким чином, навіть в умовах зовнішніх термічних дій отримані модифіковані шари на оптичному склі (К8, К108, К208 тощо) не руйнуються, зберігають початкову форму та мають просвітлюючий ефект.

Література

1. Бардин А. Н. Сборка и юстировка оптических приборов / А. Н. Бардин. – М.: Высшая школа, 2005. – 325 с.
2. Брагинец И. А. Повышение точности импульсных лазерных светодальномеров / И. А. Брагинец, А. Г. Кононенко, Ю. Г. Масюренко, А. Д. Ниженский // Техн. электродинамика. – 2003. – № 6. – С. 64 – 70.

3. Yatsenko I.V., Vashchenko V.A., Antonyuk V.S., Kyrychenko O.V., Tishchenko O.M. Regularities of influence of electron-beam technology modes on the performance characteristics of optical elements // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. - Том 11 № 2, 02014(7cc) (2019) – 2019 – С. 02014-1– 02014-7. **DOI:** 10.21272/jnep.11(2). 02014.
4. Дорожинський Г. В. Сенсорні прилади на основі поверхневого плазмового резонансу / Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, Ю. В. Ушенін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2016. – 264 с.
5. Колобродов В. Г. Проектування об’єктива тепловізійної системи за критерієм максимальної дальності спостереження / В. Г. Колобродов, В. І. Гордієнко, В. І. Микитенко, С. І. Черняк // *Науковий вісник НТУУ “КПІ”*. – 2015.– С. 66 – 72.
6. I. Yatsenko, V. Antonyuk, O. Kyrychenko, V. Vashchenko, V.Tsybulin Increasing the resistance of precision instrument-making elements from optical glass to external thermo-influences by preliminary electron-beam processing of surfaces // *International scientific journal "Machines. Technologies. Materials. Year X, Issue 7, P.P. 44-47 (2016)10 (7), 44-47.*
<https://stumejournals.com/journals/mtm/2016/7/44.full.pdf>
7. Yatsenko, I.V., Antonyuk, S.V., Vaschenko, V.A., Tsybulin, V.V. Prevent potential destruction of the optical elements of precision instrumentation to external thermo-influences // *Journal of Nano- and Electronic Physics* Volume 8, Issue 1, 2016, Номер статті 01027 **DOI:** 10.21272/jnep.8(1).01027
8. Бочок М. П. Спеціальні методи обробки оптичного скла. Навчальний посібник / М. П. Бочок, Н. П.Будко, В. А. Ващенко, Г. В. Канашевич, Д. І. Котельников. – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2001. – 215 с.
9. Ващенко В. А. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів. Монографія. / В. А.Ващенко, І. В. Яценко,Ю. Г. Лега,О. В. Кириченко. – К.: Наукова думка, 2011. – 562 с.
10. Yatsenko I., Antonyuk V., Kyrychenko O., Vashchenko V. Improvement of technical and operational characteristics of the devices with optical elements by preliminary electron-beam processing of surfaces // *Machines. technologies. materials. International scientific journal*. Вып. 6/2016 – 2016 – С. 47-50.
11. Yatsenko I., Antonyuk V., Kyrychenko O., Vashchenko V. Improving the reliability instruments of measuring and thermal control of objects of different physical nature by the finish of electron beam processing surfaces of optical elements // *Machines. technologies. materials. International scientific journal*. – Issue 1/2017 – 2017 – P. 20-23. <https://stumejournals.com/journals/mtm/2017/1/20.full.pdf>
12. Аззам Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам и др. – М.: Мир, 1981. – 583 с.

L **E** **O** **N** **I**
LEADER EXAMPLE ORIENTED ON TALENTS NOVELTIES INVESTOR



тел.: +38 (067) 67 31 390
e-mail: hr.ua@leoni.com

тел.: +38 (067) 313 44 04
e-mail: hr.kolomyia@leoni.com

www.leoni-ukraine.com