

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



Lviv Polytechnic National University
Institute of Engineering Mechanics
and Transport



CONFERENCE PROCEEDINGS

VIII INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

4 - 8 February 2019
Ivano-Frankivsk – Yaremche

ISBN 978-617-7496-46-4

Матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ-2019» (Івано-Франківськ - Яремче, 4-8 лютого 2019 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.

Матеріали доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ-2019» 4-8 лютого 2019 р. – Івано-Франківськ - Яремче, 2019. –234 с.

В авторській редакції

Комп'ютерна вестка: В.В.Врюкало

Видано на замовлення: Організаційного комітету конференції

ISBN 978-617-7496-46-4

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



ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

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

Грицай Ігор Євгенович – співголова, д.т.н., професор, завідувач кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”

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

Ziobro Jan (Poland) – prof., State University of Applied Sciences in Nowy Sącz (Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa in Nowym Sącz), Institute of Technology, Director

Burek Jan (Poland) – prof., Rzeszow University of Technology,

Tihomir Latinovic (Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina) – prof., University in Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering.

Canli Eyub (Turkey) – Selcuk University (Selçuk Üniversitesi), Faculty Member, Mechanical Engineering

Fiorentino Michele (Italy) - Politecnico di Bari, Faculty Member, D.I.Me.G.

Neumann Karl-Heinz (Germany) – prof., University of Applied Sciences, Zwickau.

Pereira Alejandro (Spain) - prof., Design in engineering of Universidade de Vigo,

Michael Storchak (Germany) – prof., Institute for Machine and Tools University of Stuttgart

Гурей Ігор Володимирович – д.т.н, професор кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”;

Залога Вільям Олександрович – д.т.н, проф., академік АН ВО України, 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 – завідувач 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., завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського;

Петраков Юрій Володимирович – д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського;

Пермяков Олександр Анатолійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри «Технології машинобудування і металорізальні верстати» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

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

Ступницький Вадим Володимирович – д.т.н, професор кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”;

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

Антонюк Віктор Степанович – д.т.н., проф., професор кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

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

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

Мандрик О.М. – д.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи ІФНТУНГ

Карпаш М.О. – д.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи ІФНТУНГ

Одосій З.М. – к.т.н., проф. кафедри КМВ ІФНТУНГ

Онисько О.Р. – к.т.н., доц. кафедри КМВ ІФНТУНГ

Ступницький В.В. – д.т.н., проф. каф. ТМБ НУ «ЛП»

Сліпчук А.М. – к.т.н., доц. кафедри ТМБ НУ «ЛП»

Медвідь Ю.В. – інженер кафедри КМВ ІФНТУНГ (секретар).

ЗМІСТ

1.	<p>ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНИХ КАДРІВ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ</p> <p>¹Ковальов В.Д., <i>д.т.н, проф.</i>, ²Кривцун І.В., <i>д.т.н, проф.</i>, <i>академік НАНУ</i>, ³Равська Н.С., <i>д.т.н., проф.</i>, ³Майборода В.С., <i>д.т.н., проф.</i></p> <p>¹Донбаська державна машинобудівна академія; ²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України ³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</p>	18
2.	<p>ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ОДНОШАРОВИХ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК МЕТОДАМИ СТРУКТУРНОЇ МЕХАНІКИ</p> <p>¹Карвацький А.Я., <i>д.т.н., професор, с.н.с.</i>, ¹Мікульонок І.О., <i>д.т.н., професор, с.н.с.</i>, ²Лазарєв Т.В., <i>к.т.н.</i>, ¹Короленко К.М., <i>магістрант</i></p> <p>¹¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ²ДП «Конструкторське Бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля</p>	20
3.	<p>КОМП'ЮТЕРЕНЕ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЗРІЗІВ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ</p> <p>Грицай І., <i>д.т.н., проф.</i>, Топчій В., <i>к.т.н., доц.</i>, Кук А.М., <i>к.т.н., доц.</i></p> <p>НУ «Львівська політехніка»</p>	22
4.	<p>АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ</p> <p>Іванов В.О., <i>к.т.н., доцент</i>, Ващенко С.М., <i>к.т.н., доцент</i>, Залога В.О., <i>д.т.н., професор</i></p> <p>Сумський державний університет</p>	25
5.	<p>МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД В УМОВАХ ВИКЛИКІВ «ІНДУСТРІЯ 4.0» ПЕРЕД ВЧЕНИМИ І ПРОМИСЛОВИКАМИ УКРАЇНИ</p> <p>Кузнєцов Ю.М., <i>д.т.н., професор</i></p> <p>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</p>	28
6.	<p>ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ</p> <p>Ковальов В.Д., <i>д.т.н., професор</i>, Васильченко Я.В., <i>д.т.н., доцент</i>, Шаповалов М.В., Сукова Т. О.</p> <p>Донбаська державна машинобудівна академія</p>	29

7.	АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ. ПАРАДОКС І МОЖЛИВОСТІ Пасічник В.А. д.т.н., проф. <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна</i>	31
8.	НАПРАЦЮВАННЯ ІФНТУНГ У СФЕРІ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕРЕСУ ДО ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ СЕРЕД ШКОЛЯРІВ ¹Карпаш М.О. д.т.н. професор., ²Дарвай І.Я., к.т.н. менеджер проекту, ¹Яворський А.В. к.т.н. доцент, ¹Жовтуля Л.Я., к.т.н., доцент <i>¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i> <i>²Громадська організація «Бюро розвитку, інновацій та технологій»</i>	37
9.	CONTROL OF THE MACHINES ON AXES IN ROBOTICS WITH THE SIEMENS PLC help Barz Cristian, Pop Radu, Chiver Olivian, Zoltan Erdei, Mihaela Stet <i>Faculty of Engineering - Northern University Centre of Baia Mare</i>	39
10.	GREEN LIVING ROOF SIMULATION MODEL REVIEW ¹Dimitrijević Jovanović D., PhD student, ²Živković P., PhD, professor, ²Janevski J., PhD, professor, ²Vukić M., PhD, professor, ²Momčilović A., PhD student, ³Dobrnjac M., PhD, professor <i>¹University of Belgrade, Institute for Nuclear Sciences Vinča</i> <i>²University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering</i> <i>³University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering</i>	42
11.	MOBILE APPLICATION ON ANDROID FOR CALCULATION OF ROUND ROLLS CUTTING USING JAVA TECHNOLOGIES ¹Sergey Dobrotvorskiy, prof., ²Jan Pitel, prof., ³Ewa Dostatni, acc.prof., ⁴Milan Edl, prof., ¹Serhii Gnuchykh, postgrad., ¹Ludmila Dobrovolska, acc.prof. ¹Vadim Prichodko, mast., ¹Evgeniy Sokol, prof. <i>¹National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute“ Kharkiv,</i> <i>²Technical university of Kosice, Presov, Slovakia,</i> <i>³Poznan University of Technology, Poznan, Poland,</i> <i>⁴University of West Bohemia</i>	44
12.	HEAT EXCHANGER MATERIAL SELECTION BY USING MCDM Solver Dušan Petković, Predrag Živković, Miloš Madić, Goran Radenković <i>University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, Serbia</i>	46
13.	MATERIALS AND TECHNOLOGIES USED IN THE PRODUCTION OF HIGHLY LOADED GEAR WHEELS ¹Jan Zwolak, ²Stanisław J.Skrzypek, ³Dominik Kozik <i>¹PWSZ im. J. Grodka w Sanoku (Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok)</i> <i>²AGH im. S. Staszica w Krakowie (AGH-University of Science and Technology)</i> <i>³Centrum Nowych Technologii Dominik Kozik (Center of New Technologies Dominik Kozik)</i>	47

14.	<p>EXPERIENCE IN TEACHING ENGINEERING DISCIPLINES IN THE LIGHT OF TODAY'S CHALLENGES Kornuta V. A., PhD, associate professor, Kornuta O. V., PhD, associate professor <i>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas</i></p>	48
15.	<p>EVALUATION OF THE DURABILITY OF HARD-FACED LAYERS WELDED ON THE CONICAL PICKS ON THE BASIS OF LABORATORY TESTS Krauze Krzysztof, Prof., Bołoz Łukasz, Ph.D. Eng., Wydro Tomasz, Ph.D. Eng., Mucha Kamil, M.Sc. Eng. <i>AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland</i></p>	50
16.	<p>NUMERICAL CRASH TESTS OF MODERNIZED HEAD STRUCTURE OF THE ED72 ELECTRICAL TRAIN UNIT ACCORDING TO THE EN 15227 STANDARD ^{1,2}Nycz D.B., PhD Eng, ³Frączek R., ³Pałdyna M., ²Miszczak K., ²Orzechowski W., ²Kawalek Ł. ^{1,2}<i>Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok, Poland</i> ²<i>DES ART Sp. z o.o., Sanok, Poland</i> ³<i>ZNTK Mińsk Mazowiecki S.A., Mińsk Mazowiecki, Poland</i></p>	53
17.	<p>MAKING IMPROVED COMPOUNDS FROM PRODUCTION SCRAPED MATERIAL AND AGGREGATES OF PLASTIC MATERIAL Monika Stącel, PhD Eng <i>Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok</i></p>	56
18.	<p>AN ANALYSIS THE NUMERICAL MODEL OF SLIDING BEARING Tomczewski L. PhD, Eng. <i>Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy, Sanok, Poland</i></p>	56
19.	<p>APPLICATION OF NUMERICAL MODELING AND 3D ANALYSIS IN DESIGNING FLEXIBLE PRODUCT Jan Ziobro. PhD Eng <i>Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok</i></p>	58
20.	<p>TIMOK REGION WIND ENERGY POTENTIALS ¹P. Živković, ¹D. Petković, ¹M. Vukić, ¹J. Janevski, ²M. Tomić, ³D. Dimitrijević Jovanović ¹<i>University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering</i> ²<i>University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences</i> ³<i>Innovation Center of Advanced Technologies CNT</i></p>	59

21.	<p>THE USE COMBINED TECHNOLOGIES TO STRENGTHEN SURFACES</p> <p>¹Zhiguts Yu.Yu., <i>D.Sc. in Technical Science, Prof.</i>, ²Kopei V.B., <i>PhD in Technical Science, Docent</i></p> <p>¹<i>Uzhgorod National University</i> ²<i>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Ga</i></p>	64
22.	<p>КОЛИВАННЯ КОНСОЛЬНИХ БОРШТАНГ МАЛОГО ДІАМЕТРУ</p> <p>Альбакуш Аймен, аспірант</p> <p><i>Одеський національний політехнічний університет</i></p>	66
23.	<p>РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ЙОННОГО АЗОТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ІНСТРУМЕНТУ</p> <p>¹Антонюк В.С., <i>д.т.н., професор</i>, ²Рутковський А. В., <i>к.т.н., с.н.с.</i> ¹<i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i> ²<i>Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка Національної академії наук України</i></p>	68
24.	<p>АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ І НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ</p> <p>Архипова Л. М., д.т.н., професор</p> <p><i>Івано-Франківській національний технічний університет нафти і газу</i></p>	70
25.	<p>ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ГНУЧКОГО ТЯГОВОГО ОРГАНУ З КІНЕМАТИЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ</p> <p>¹Бельмас І.В., <i>д.т.н., професор</i>, ²Колосов Д.Л., <i>д.т.н., доцент</i>, ¹Білоус О.І., <i>к.т.н., доцент</i>, ¹Бобильова І.Т. <i>асистент</i></p> <p>¹<i>Дніпровський державний технічний університет</i>, ²<i>Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"</i></p>	73
26.	<p>УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ФРИКЦІЙНОГО ПЛАКУВАННЯ</p> <p>Бурда М.Й., доцент, Гладкий С.І., к.т.н., доцент, Деменський С.С., магістрант</p> <p><i>Івано-Франківський національний університет нафти і газу</i></p>	75
27.	<p>КОНСТРУЮВАННЯ УСТАНОВКИ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТВА З ШИРОКИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ</p> <p>Борушак С.Л., студент, Шуляр І.О., к.т.н., доцент</p> <p><i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i></p>	78

28.	ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НАРІЗЕВИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБНИХ КОЛОН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН НЕТРАДИЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ Василишин В.Я., к.т.н, доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	80
29.	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНОГО ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО МЕТОДІВ У ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ Винничук Б.Б., студент, Борушак Л.О., к.т.н., доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	83
30.	СТИМУЛЮВАННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ Войтенко П.І., к.т.н., доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	86
31.	ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ¹Воронцов Б.С., д.т.н., професор, ²Кривошея А.В., к.т.н., с.н.с. <i>¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i> <i>²Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України</i>	87
32.	АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИН КОНТАКТНОГО ТИСКУ МІЖ ПОВЕРХНЯМИ НАРІЗЕЙ НІПЕЛЯ І МУФТИ ЗАМКОВОГО З'ЄДНАННЯ 3-30 Врюкало В.В., к.т.н., доцент, Медвідь Ю.В., магістрант <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	89
33.	ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІВАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ В ГАЗОВИХ ОПОРАХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ Віштак І.В., к.т.н., доцент <i>Вінницький національний технічний університет</i>	91
34.	РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ КУЛАЧКА НА ВЕРСТАТІ З ЧПК Врюкало В.В., к.т.н., доцент, Гаврилів Ю.Л., к.т.н., доцент, Гаврилів С.Ю., аспірант <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	93
35.	ПІДВИЩЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ПРИВОДУ ШТАМПУВАЛЬНОГО ПРЕСА Гаврилів Ю.Л., к.т.н., доцент, Врюкало В.В., к.т.н., доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	99

36.	РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ КУЛАЧКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДГВИНЧУВАННЯ ТРУБ Гаврилів Ю.Л., <i>к.т.н, доцент</i> , Гаврилів С.Ю., <i>аспірант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	104
37.	УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ФІКСАЦІЇ ПРИСТРОЇВ В ОБСАДНІЙ КОЛОНИ Гаврилів Ю.Л. , <i>к.т.н., доцент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	108
38.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ НАПІВКРУГЛОГО ПРОФІЛЮ ГОЛОВКИ ГАЛЬМІВНОГО ЕЛЕМЕНТА ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ФРЕЗОЮ Гевко Б.М., <i>д.т.н., проф.</i> , Лещук Р.Я., <i>к.т.н., доцент</i> , Босюк П.В. <i>асистент</i> <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i>	111
39.	НАВИВАННЯ СПІРАЛЕЙ ШНЕКІВ ОБЕРТОВОЮ ВТУЛКОЮ Гевко Ів.Б., <i>д.т.н., проф.</i> , Гудь В.З., <i>к.т.н.</i> , Круглик О.А., <i>аспірант</i> <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i>	114
40.	МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ КАНАТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ Гелетій В. М., <i>к.т.н, доцент</i> , Ланець О.В. <i>к.т.н</i> <i>Національний університет «Львівська політехніка»</i>	116
41.	ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ШЛІФУВАННІ ЦІВКОВОГО КОЛЕСА ГЕРОТОРНОЇ ПАРИ В УМОВАХ ОБКАТУ Скібінський О.І., <i>к.т.н., доцент</i> , Гнатюк А.О., <i>здобувач</i> <i>Центральноукраїнський національний технічний університет</i>	118
42.	ФОРМУВАННЯ РІВНЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВИРОБІВ Григор'єва Н.С., <i>д.т.н., професор</i> <i>Луцький національний технічний університет</i>	120
43.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ Добровольська Л.Н., <i>к.т.н., проф.</i> , Куць Н.Г. <i>к.т.н., доц.</i> , Собчук Д.С., <i>к.т.н., доц.</i> <i>Луцький НТУ</i>	122

44.	ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ ¹ Долгов М.А., <i>д.т.н., доцент</i> , ² Смирнов І.В., <i>д.т.н., професор</i> ¹ Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України ² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	123
45.	ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В ПРОГРАМІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРА-МЕХАНІКА Долішній Б. В. , <i>к.т.н., доцент</i> , Панчук В. Г. , <i>д.т.н., професор</i> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	126
46.	МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ПОВЕРХНІ ВІБРОУСТАНОВКИ ІЗ ПРОСТОРОВИМИ КОЛИВАННЯМИ Дєдов О.П., <i>к.т.н., доцент</i> Київський національний університет будівництва і архітектури	127
47.	ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗТОЧУВАННЯ ПОЯСКІВ У БЛОКАХ ЦИЛІНДРІВ Гевко І.Б. <i>к.т.н.</i> , Казмірчук П.В. <i>аспірант</i> Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя	128
48.	КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ЧАСТОТ КОЛИВАНЬ ПРИ ТОНКОМУ ТОЧІННІ ВАЛУ ПЕРЕМИКАННЯ ВЕРСТАТА 16К20 Карабут В.М., <i>ст. викладач</i> Національна металургійна академія України	130
49.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ ПРИ ГЛИБОКОМУ СВЕРДЛІННІ ¹ Карпик Р. Т. <i>к.т.н., доцент</i> , ² Костюк Н. О., <i>аспірант</i> ¹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу ² Хмельницький національний університет	132
50.	ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВСТАВНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ Карпик Р. Т. <i>к.т.н., доцент</i> , Пітулей Л. Д. <i>к.т.н., доцент</i> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	135
51.	МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ВСТАВНИХ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ Пітулей Л. Д. <i>к.т.н., доцент</i> , Карпик Р. Т. <i>к.т.н., доцент</i> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	136

52.	АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПРЕСФОРМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РЕАКТОПЛАСТІВ Карпик Р.Т, <i>к.т.н., доцент</i> , Бухало А.А., <i>магістрант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	138
53.	ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ Кирилович В.А., <i>д.т.н, проф.</i> , Богданець А.І., <i>магістрант</i> <i>Житомирський державний технологічний університет</i>	141
54.	ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РІЗАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТУ Клименко Г.П., <i>д.т.н., професор</i> <i>Донбаська державна машинобудівна академія</i>	143
55.	ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКОВИХ ТРУБОПРОВІДІВ ¹ Копей Б.В. , <i>д.т.н., професор</i> , ¹ Джус А.П. , <i>д.т.н., професор</i> , ² Гусарова І.А., <i>начальник відділу</i> , ² Роменська О.П., <i>інженер</i> ¹ <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i> , ² <i>Державне підприємство «Конструкторське бюро» Південне », Дніпро</i>	145
56.	ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДВООПОРНИХ МУФТОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ПУСТОТІЛИХ НАСОСНИХ ШТАНГ ¹ Копей В.Б., <i>к.т.н., доцент</i> , ¹ Онисько О.Р., <i>к.т.н., доцент</i> , ² Жигуц Ю.Ю., <i>д.т.н., професор</i> ¹ <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i> ² <i>Державний вищий навчальний заклад "Ужгородський національний університет"</i>	146
57.	ШНЕКОВИЙ ПАТРОН З ГВИНТОВИМИ ЗАТИСКНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ Котик Р.М. <i>аспірант</i> , Маруніч О.П. <i>аспірант</i> <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i>	149
58.	РОЛЬ РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ У ФОРМУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ВИЛИВКА Кусий Я.М., <i>к.т.н., доцент</i> , Кузін О.А., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Національний університет "Львівська політехніка"</i>	152
59.	КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Кустов В.В., <i>к.т.н.</i> , Бечкало В.І., <i>магістрант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	155

60.	ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ ЗУБІВ ОБКАТНОГО РОЛИКА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БАГАТОЗАХІДНОЇ РІЗЬБИ ХОДОВОГО ГВИНТА БУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ Кіяновський М.В., <i>д.т.н., професор</i> , Цивінда Н.І., <i>к.т.н., доцент</i> , Чернявська О.В. <i>ст.викладач</i> <i>Криворізький національний університет</i>	156
61.	СТВОРЕННЯ ІДЕНТИЧНИХ УМОВ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНО-ПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ Лещенко О. І., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Приазовський державний технічний університет, Маріуполь</i>	159
62.	3-ВИМІРНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В12 Лукаць Т.В., <i>асистент</i> , Лейбюк Т.Т., <i>студент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	162
63.	ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ УСТАНОВКИ ¹ Ляшук О.Л. <i>д.т.н. доцент.</i> , ² Кондратюк О.М., <i>к.т.н. доцент</i> , ² Серілко Л.С. <i>к.т.н. доцент</i> , ¹ Галан Ю.Я. <i>аспірант</i> ¹ Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя ² Національний університет водного господарства та <i>природокористування</i>	164
64.	ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДЕФЕКТІВ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ¹ Марчук В.І., <i>д.т.н., професор</i> , ¹ Марчук І.В., <i>к.т.н., доцент</i> , ¹ Олексин М.В., <i>аспірант</i> , ¹ Сачковська Л.О., <i>аспірант</i> , ² Джугурян Т.Г. <i>д.т.н., професор</i> . ¹ Луцький національний технічний університет ² Щецінська морська академія (Польща)	167
65.	ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ ¹ Бойко І.А., <i>інженер</i> , ² Глембоцька Л.Є., <i>к.т.н.</i> , ³ Івщенко Л.Й., <i>д.т.н., професор</i> , ² Мельничук П.П., <i>д.т.н., професор</i> ¹ АТ «Мотор Січ», Запоріжжя ² Житомирський державний технологічний університет ³ Запорізький національний технічний університет	169
66.	ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗЦІВ З ТВЕРДОСПЛАВНИМИ РІЗАЛЬНИМИ ПЛАСТИНАМИ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ПРИ ЧОРНОВІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ З ВЕЛИКИМИ ДІАМЕТРАМИ БОЧКИ ВАЛКА Мироненко Є. В., <i>д.т.н., професор</i> , Калініченко В. В., <i>к.т.н., доцент</i> , Гузенко Д. Є., <i>аспірант</i> <i>Донбаська державна машинобудівна академія</i>	171

67.	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ Ручинський М.М., <i>к.т.н., професор</i> , Назаренко І.І., <i>д.т.н., професор</i> , Свідерський А.Т., <i>к.т.н., професор</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури</i>	174
68.	ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В АМОРФНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТЯХ Одосій З.М., <i>к.т.н., професор</i> , Шиманський В.Я., <i>асистент</i> , Піндра Б.В., <i>магістрант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	175
69.	ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ НАРІЗЕЙ КОНІЧНИХ ЗАМКОВИХ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНИХ КОЛОН Онисько О.Р., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	178
70.	ВПЛИВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ЗМІЩЕННЯ ВЕРШИННОЇ ТОЧКИ НАРІЗЕВОГО РІЗЦЯ НА ЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЬНОГО КУТА α ЗАМКОВОЇ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ 3-30 Онисько О.Р., <i>к.т.н., доцент</i> , Врюкало В.В., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	180
71.	ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА КОЛИВАННЯ ДВОСТУПНЧАСТИХ КОНСОЛЬНИХ БОРШТАНГ ПРИ ТОНКОМУ РОЗТОЧУВАННІ Баланюк Г.В., <i>старший викладач</i> , Оргіян О.А., <i>д.т.н. професор</i> , Черкалін А. <i>магістрант</i> . <i>Одеський національний політехнічний університет</i>	183
72.	ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА Крижанівський Є.І., <i>д.т.н., професор</i> , Паневник Д.О., <i>асистент</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	185
73.	РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА Паневник Д.О., <i>асистент</i> , Паневник О.В., <i>д.т.н., професор</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	187
74.	КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ ЗБІРНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ Пасічник В. А., <i>д.т.н., професор</i> , Яковенко Д.В., <i>магістрант</i> <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	189

75.	ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ГВИНТОВИХ СПРАЛЕЙ Пилипець М.І., <i>д.т.н., професор</i> , Лясота О.М., <i>к.т.н., доцент</i> <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i>	192
76.	ВИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ ПОРИСТОГО ПРОНИКНОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САЕ Повстяной О.Ю., <i>к.т.н., доцент</i> ; Сичук В.А., <i>к.т.н., ст.викладач</i> ; Полінкевич Р.М., <i>к.т.н., доцент</i> , Четвержук Т.І., <i>к.т.н., ст.викладач</i> <i>Луцький національний технічний університет</i>	195
77.	ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОПОРОШКІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПАКТІВ, ЩО БУДУТЬ ВИКОРИСТАНІ У ШЛІФУВАЛЬНОМУ І ПОЛІРУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ ¹ Полторацький В.Г., <i>к.т.н.</i> , ¹ Петасюк Г.А., <i>д.т.н.</i> , ¹ Бочечка О.О., <i>д.т.н.</i> , ¹ Лавріненко В.І., <i>д.т.н., професор</i> , ¹ Лещенко О.В., ² Солод В.Ю., <i>к.т.н.</i> , ³ Проц Л.А., <i>к.т.н., доцент</i> ¹ <i>Інститут надтвердих матеріалів ім.В.М.Бакуля НАН України, Київ</i> ² <i>Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське,</i> ³ <i>Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород</i>	197
78.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВЕЛИЧИН КОНТАКТНОГО ТИСКУ МІЖ ПОВЕРХНЯМИ НАРІЗЕЙ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ОБЕРТІВ ЗАГВИНЧУВАННЯ НІПЕЛЯ У МУФТУ ЗАМКОВОГО З'ЄДНАННЯ З-66 Пітулей Л.Д., <i>к.т.н., доцент</i> , Медвідь Ю.В., <i>магістрант</i> <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	199
79.	ОСОБЛИВОСТІ ГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНІЙ ОБРОБЦІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ Равська Н.С., <i>д.т.н., професор</i> , Майборода В.С., <i>д.т.н., професор</i> , Слободянюк І.В., <i>к.т.н., асистент</i> , Родін Р.П., <i>к.т.н., с.н.с</i> <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	202
80.	СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДИСКОВОЇ ОБКАТНОЇ ФРЕЗИ Равська Н.С., <i>д.т.н., професор</i> , Парненко В. С., <i>асистент</i> <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	205

81.	ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ ДЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ <i>¹Роп'як Л. Я., к.т.н., с.н.с., доцент, ²Малишевська О. С., к.т.н., доцент</i> <i>¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i> <i>²Івано-Франківський національний медичний університет</i>	208
82.	МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РОБОТИ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., старший викладач, Предко Р.Я., к.т.н., асистент <i>Національний університет "Львівська політехніка"</i>	209
83.	АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ DEFORM-2D ЩОДО ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ Ступницький В.В., д.т.н., професор <i>Національний університет «Львівська політехніка»</i>	210
84.	ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИСКОВИХ ШАРОШОК ДЛЯ ПРОХІДНИХ КОМБАЙНІВ Карпик Р.Т., к.т.н., доцент, Сьомкайло В.М., магістр <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	212
85.	НАПРУЖЕННЯ В ШЛІФУВАЛЬНОМУ КРУЗІ Танцура Г.І., к.т.н., доцент <i>Дніпровський державний технічний університет</i>	214
86.	ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНОЇ ЗАМКОВОЇ НАРІЗИ Онисько О.Р., к.т.н., доцент, Шкіца Л.Є., д.т.н., професор, Тарас І.П., к.т.н., доцент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	216
87.	ВЗАЄМОДІЯ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА З ПРУЖНО-В'ЯЗКИМ ВИБОЄМ Цідило І. В., к. фіз-мат. н., доцент, Михайлюк І. Р., к. пед.н., доцент, Кирничний Т. Я., студент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	218
88.	ВПЛИВ РОЗМІЩЕННЯ АМОРТИЗАТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З МАХОВИЧНИМ ДВИГУНОМ Цідило І. В. к. ф.-м. н., Михайлюк І. Р. к. пед. н., Харун П. В. студент, Круглий Р. Б. студент <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	220

89.	ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ CALS-ТЕХНОЛОГІЯМИ Шабайкович В.А., д.т.н., професор <i>Луцький національний технічний університет</i>	222
90.	ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ Шкодо М., професор, Кільчинські В., д-р філософії, Панчук А., магістр <i>Політехніка Гданська, Польща</i>	224
91.	ДУГОВЕ ПАЯННЯ ТРУБ ІЗ ЦИНКОВИМИ ПОКРИТТЯМИ Шлапак Л.С., д.т.н., професор, Матвієнків О.М., к.т.н., Сем'яник І.М., інженер <i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	227
92.	КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВСТАВНОГО ПОРОДОРУЙНИВНОГО ОСНАЩЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ ДЛЯ БУРІННЯ ОСОБЛИВО МІЦНИХ ПОРІД ¹Яким Р. С., д.т.н., проф., ²Сліпчук А.М., к.т.н., доцент <i>¹Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка</i> <i>²Національний університет «Львівська політехніка»</i>	230
93.	APPLICATION OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS IN TECHNOLOGIES OF WEAR-RESISTANT COATINGS DEPOSITION ¹Lutsak D.L., Ph.D., Docent, ²Seniutovych A.R., ²Lutsak L.D., Ph.D., Docent <i>¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,</i> <i>²Cross-Sectoral Scientific and Production Center "Epsilon LTD"</i>	232

ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНИХ КАДРІВ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

¹Ковальов В.Д., *д.т.н, проф.*, ²Кривцун І.В., *д.т.н, проф., академік НАНУ*,
³Равська Н.С., *д.т.н, проф.*, ³Майборода В.С., *д.т.н, проф.*

¹Донбаська державна машинобудівна академія;

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук
України

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

В умовах війни, в яку втягнута Україна, в умовах залежності України від зовнішнього капіталу, падіння рівня виробництва, а під час ліквідації цілих його галузей та перетворення нашої країни в сировинну базу спостерігається зростання безробіття та тотального зубожіння основної маси населення.

Як наслідок цього – процвітання в країні корупції та популізму, результатом яких при підготовці кадрів з вищою освітою є створення «дитсадкових» вищих навчальних закладів (ВНЗ), науково-педагогічний персонал яких забезпечується за рахунок сумісництва. Таке становище приводить до заробітчанства серед викладачів вузів та «подвійної арифметики» і, як наслідок, до зниження рівня підготовки випускників вузів України та результативності наукової діяльності ВНЗ.

Однією з суттєвих проблем підготовки інженерних кадрів для машинобудівного комплексу є недостатнє забезпечення вузів сучасним обладнанням, придбання і оновлення якого потребує великих матеріальних витрат. В цьому криється причина, в основному, низької практичної підготовки нашого випускника при достатньо (поки що) високому рівні теоретичної підготовки.

Крім того, оплата праці інженерних кадрів в Україні значно нижча в порівнянні з іншими країнами, що робить непривабливим вступ до вітчизняних вузів, які готують інженерів для машинобудівних підприємств.

В сучасних умовах існування України спостерігається масовий відтік талановитої та працездатної молоді. Це негативно впливає на рівень підготовки інженерних кадрів, збільшує кадровий дефіцит в машинобудівних галузях країни, а в майбутньому може привести до соціальної напруги в інших країнах.

Вирішення цих проблем вимагають від вузів максимальної згуртованості, тяжкої та наполегливої праці їх колективів у створенні привабливих умов навчання студентів та підготовки науково-педагогічних працівників.

Для підвищення рівня підготовки випускників вищих навчальних закладів та наукової складової діяльності вузів на базі широкого залученням студентів, збереження наукових шкіл – першочерговою задачею є оптимізація кількості ВНЗ з урахуванням неформальних критеріїв, які забезпечують підготовку студентів.

Можливі шляхи вирішення проблем підготовки інженерних та наукових кадрів в сучасних умовах продиктовані багаторічним досвідом вузів України з урахуванням цих умов.

На наш погляд основними з них є:

- тісний взаємозв'язок вузів та роботодавців з розробленням системи залучення роботодавців до інвестування підготовки інженерних кадрів;
- впровадження індивідуальної дуальної освіти на основі узгодження з виробництвом навчальних планів практичної підготовки випускників;
- посилити профорієнтаційну роботу за рахунок залучення кожного викладача кафедр вузів з розробкою критеріїв їх заохочення;
- посилити зв'язок вузів зі школами, для поширення інформації стосовно попиту інженерних кадрів на ринку праці;
- активізувати роботу існуючих спільних із зарубіжними вузами факультетів, провести оновлення договорів з врахуванням сучасних умов підготовки, розширити участь в них інших вузів країни на основі узгодження навчальних програм між вузами України та зарубіжними;
- на основі об'єднань, створених навчальних центрів та інших структур використати базу та науковий потенціал в навчальній та науковій роботі ВНЗ;
- при наукових парках створити з залученням вітчизняних та зарубіжних інвесторів центри нових розробок з організацією відповідних кластерів в зацікавлених вузах та розробити систему їх участі в підготовці інженерних та наукових кадрів;
- при наукових парках України створити фонди підтримки студентів та талановитої молоді при їх обов'язковій участі в центрах нових розробок та в наукових розробках кафедр;
- активізувати участь студентів в науковій роботі кафедр вузів.

В доповіді розглянуті організаційні та методичні рекомендації і алгоритми для усунення проблеми підготовки інженерних кадрів України.

Тільки на тісній співпраці та взаємозв'язках шкіл-вузів-МАН, вузів-виробництва, вузів-академії наук України, спільних факультетів, при наукових парках України створення інвестиційних центрів з вітчизняними та зарубіжними інвестиціями, та фонду підтримки студентів і молодих вчених.

ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ОДНОШАРОВИХ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК МЕТОДАМИ СТРУКТУРНОЇ МЕХАНІКИ

¹Карвацький А.Я., *д.т.н., професор, с.н.с.*, ¹Мікульонок І.О., *д.т.н., професор, с.н.с.*, ²Лазарєв Т.В., *к.т.н.*, ¹Короленко К.М., *магістрант*

¹¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²ДП «Конструкторське Бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля

Вуглецеві нанотрубки, і зокрема одношарові вуглецеві нанотрубки (ОВНТ)/(SWCNT), з моменту їх відкриття в 1991 р. Іїїма [1], набули широкого застосування в різних галузях науки і техніки. Завдяки своїм унікальним механічним, тепловим та електричним властивостям ОВНТ характеризуються винятково високою жорсткістю, міцністю і пружністю, і зазвичай використовуються як ідеальний армувальний матеріал для принципово нового класу нанокompозитів [2], у тому числі й полімерних.

Для дослідження фізичних властивостей ОВНТ, зокрема механічних, застосовуються як експериментальні, так і теоретичні методи. Експериментальні методи характеризуються надзвичайною складністю проведення досліджень, розбіжністю одержуваних даних, великою вартістю тощо. Тому застосування теоретичних методів для прогнозування механічних властивостей ОВНТ, які є набагато менш затратними, набуває широкого поширення серед дослідників як потужний альтернативний інструмент порівняно з експериментальними методами. У свою чергу, застосовувані теоретичні методи поділяються на два підходи: перший – це квантова/молекулярна механіка, класична молекулярна динаміка і *ab initio*; другий – механіка суцільного середовища з використанням енергетичних потенціалів і силових коефіцієнтів молекулярної механіки. Наразі, для моделювання наноструктур беззаперечно перевагу має підхід наномасштабної континуальної або структурної механіки, у частині незрівнянно менших вимог до обчислювальних ресурсів [3].

Зазвичай числова реалізація континуального підходу до прогнозування механічних властивостей ОВНТ виконується методом скінченних елементів з використанням пружинних (spring) або стрижньових/балочних (beam) скінченних елементів у лінійному або нелінійному формулюванні. При цьому вважається, що під навантаженням ОВНТ проявляє властивості просторово-стрижньової структури. Ковалентні зв'язки між атомами вуглецю розглядаються як з'єднувальні силові елементи, а атоми вуглецю – як шарніри цих елементів.

Проблемі прогнозування механічних властивостей ОВНТ на базі континуального підходу присвячена велика кількість праць. Проте жодна з них не надає числової методики для визначення механічних властивостей ОВНТ як потужного інструменту їх теоретичного прогнозування. Тому саме завдання оволодіння цим інструментом і було поставлено авторами як мету досліджень.

Отже метою проведених авторами досліджень було відпрацювання та перевірка числових методик визначення модуля пружності ОВНТ з використанням методу скінченних елементів та зв'язку між параметрами молекулярної механіки та структурної механіки, що є необхідним для подальшого їх застосування для розробки нових нанокомпозитів.

Для досягнення сформульованої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- побудова просторово-каркасних моделей ОВНТ різної хіральності;
- формулювання лінійних та нелінійних співвідношень для визначення параметрів структурної механіки на основі енергетичних потенціалів і силових коефіцієнтів молекулярної механіки;
- розробка числових моделей для дослідження модуля пружності ОВНТ різної хіральності та діаметра;
- порівняння отриманих результатів механічних властивостей ОВНТ з відомими теоретичними та експериментальними даними.

Результати аналізу проведених авторами досліджень дають змогу зробити такі висновки.

1. Розроблено програмні коди для побудови просторово-каркасних моделей ОВНТ різної хіральності з використанням вільно відкритого програмного забезпечення Gmsh.

2. Розглянуто формулювання лінійних і нелінійних співвідношень для визначення параметрів структурної механіки на основі енергетичних потенціалів та силових коефіцієнтів молекулярної механіки. Формулювання нелінійної задачі дістали певного уточнення в частині визначення співвідношень «узагальнена деформація – узагальнені напруження».

3. Розроблено числові моделі для дослідження модуля пружності ОВНТ різної хіральності та діаметра, що представляють собою макроси на мові програмування APDL ANSYS Mechanical APDL.

4. Результати порівняння отриманих результатів з механічних властивостей ОВНТ показали задовільне узгодження з теоретичними та експериментальними даними: розбіжність з відомими теоретичними оцінками становить 0,08–5,1 %; діапазон розкиду експериментальних даних 1–1,2 ТПа охоплює більшість з отриманих теоретичних результатів.

5. Верифіковані числові методики для визначення модуля пружності ОВНТ у подальшому планується застосовувати для розроблення нових полімерних нанокомпозитів.

Література:

1. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. 1991. N 354. P. 56–58. <https://doi.org/10.1038/354056a0>.
2. Lau K.-T., Hui D. The revolutionary creation of new advanced materials – carbon nanotube composites // Composites Part B: Engineering. 2002. Vol. 33. P. 263–277.
3. Lu X., Hu Z. Mechanical property evaluation of single-walled carbon nanotubes by finite element modeling // Composites. Part B: Engineering. 2012. Vol. 43, N 4. P. 1902–1913. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.02.002>.

КОМП'ЮТЕРЕНЕ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЗРІЗІВ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ

Грицай І., д.т.н., проф., Топчій В., к.т.н., доц., Кук А.М., к.т.н., доц.
НУ «Львівська політехніка»

Зубасті колеса та передачі є невід'ємними складовими сучасних машин, а обсяги їх щорічного виробництва в різних галузях машинобудування складають мільйони одиниць. Основним способом нарізання зубчастих коліс в усіх організаційно-технічних типах виробництва у наш час є зубофрезерування коліс черв'ячними модульними фрезами.

Цей процес належить до найскладніших процесів різання та формоутворення, який поєднує чотири кінематичних рухи – обертання фрези, її осьову подачу, обертання заготовки та конструктивний рух – переміщення різальних елементів фрези, розташованих на гвинтовій поверхні основного черв'яка, вздовж осі фрези. Складність моделювання полягає у тому, що поверхня різання неперервно змінює своє розташування та форму стосовно зубців фрези. Ця поверхня формується на заготовці, як деяка перехідна поверхня між ще необробленою поверхнею та частково обробленою впадиною між зубцями колеса, яке нарізають. Участь у її утворенні беруть усі зубці, які здійснювали різання за весь час, що передує якомусь певному моменту. Неперервна зміни форми та розмірів перехідної поверхні визначає форму та розміри стружок і параметри перерізу зрізів зубців та лез інструменту, а її відтворення є основою для правильної кількісної оцінки параметрів зрізів окремих лез та зубців фрези. У свою чергу, повна та достовірна інформація про перерізи зрізів і форму та розміри шарів металу, які зрізаються в процесі зубофрезерування, є основою для розрахунку та аналізу сил різання, тертя, теплових процесів, коливань та вібрацій тощо.

З огляду на розповсюдження та значення даного процесу у сучасному машинобудуванні, його моделюванню присвячені праці низки авторів, зокрема, [1, 2]. Перевагою цих праць є представлення кінематики процесу траєкторією руху окремого зубця в обертанні навколо осі фрези, а також відтворення руху зубців, які передували різанню даного зубця в положеннях по осьовій подачі. Проте цей підхід автори не поширюють на обкочування, яке є частиною кінематики процесу зубофрезерування; у вказаних працях цей рух розглядається як «позиції генерування» у виді перерізу траєкторії зубця площиною міжцентрового перпендикуляру. Попри позитивні ідеї, які містять ці дослідження, вони не дають змоги повною мірою та адекватно відтворити перехідну поверхню і параметри зрізуваних шарів.

Базуючись на відомих підходах створено методику оцінки процесу різання черв'ячною фрезою, яка усуває вказані недоліки. Якщо описати геометрію сліду зубця в русі різання, то цей слід буде окреслений його контуром в повороті відносно осі фрези; цю поверхню визначено як «тороїд» з індексом « i » (рис.1, а). У будь-якому положенні фрези та колеса тороїд окремого зубця фрези обмежений зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки та

попередньо сформованою поверхнею западини між зубцями колеса, яка після певного часу врізання виявляється сформована [3, 4]:

1 - зубцем, попереднім стосовно даного (i -го), по осьовій подачі на зуб s_z тобто, зубець, найближчий до даного на гвинтовій поверхні, який вже здійснив різ. Траєкторія-тороїд цього зубця зміщено по осі фрези на величину одиничного лінійного переміщення Δx гвинтової поверхні черв'яка фрези: $\Delta x \rho / z_\phi = \pi m / z_\phi$ у напрямку, протилежному до переміщення гвинтової поверхні черв'яка та повернуто на одиничний кут профілювального різання в напрямку обертання зубчастого колеса, де ρ – крок фрези та колеса; z_k, z_ϕ – відповідно, кількість зубців колеса та фрези; його індекс $(i-1)_\psi$;

2 - даним (i -м зубцем), коли він прорізає цю западину в його попередньому по осьовій подачі фрези положенні: його тороїд зміщуємо у напрямку, зворотному до вектора осьової подачі, на величину осьової подачі s_o ; його індекс $(i-1)_s$;

3 - попереднім до цього зубця зубцем на гвинтовій лінії, його тороїд повернуто на кут ψ у напрямку, зворотному до обертання колеса, його індекс: $(i-1)_{s_\psi}$.

Об'єднання в просторі (композиція) усіх чотирьох тороїдів: « i », « $(i-1)_\psi$ », « $(i-1)_s$ » та « $(i-1)_{s_\psi}$ » формує поверхню різання цього зубця, перехідну поверхню і об'ємний контур стружки, яку зрізає i -й зубець фрези, що розташований на певній віддалі від міжосьового перпендикуляра (рис 1,б).

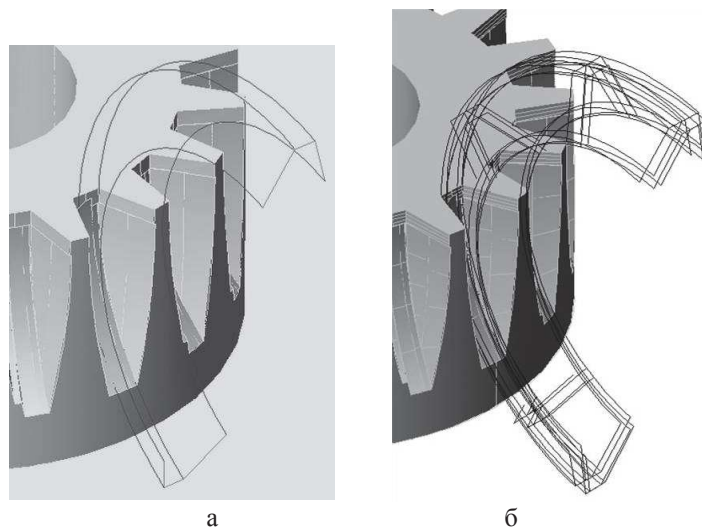


Рис.1. Траєкторія руху - тороїд окремого зубця фрези (а)
та композиція з тороїдів, які формують поверхню різання цього зубця (б)

На рис.2 наведено схему, на якій цифрами -5, -4, ...3 позначені ділянки робочої зони, в яких було визначено форму стружок, які зрізають зубці фрези, розташовані на віддаль, кратних $3\Delta x$ відносно міжосьового перпендикуляру (від'ємний знак відповідає вхідній частині фрези) та геометричні 3D моделі стружок у цих позиціях; побудова виконана в системі AutoCad.

Вказана методика визначення форми та розмірів перехідних поверхонь і стружки, розроблена для черв'ячного зубофрезерування, може бути

використана для аналізу та оцінки інших процесів нарізання зубчастих коліс та складних поверхонь, які відбуваються в умовах неперервного обточування: нарізання черв'ячних коліс, циліндричних та конічних коліс з гвинтовими зубцями, шліцевих поверхонь тощо.

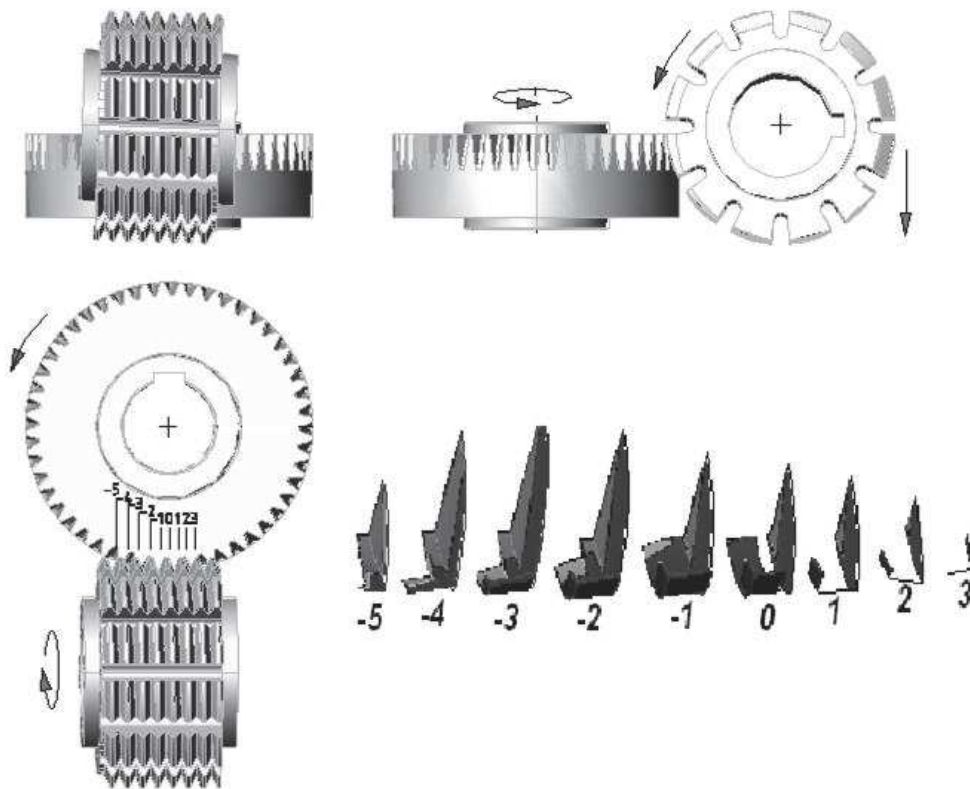


Рис.2. Позиції зубців черв'ячної фрези, в яких визначено форму стружок та 3D моделі стружок у цих позиціях

Література:

1. V. Dimitriou, N.Vidakis, A Antoniadis. Advanced Computer Aided Design Simulation of Gear Hobbing by Means of Three-Dimensional Kinematics Modeling: Journal of Manufacturing Science and Engineering OCTOBER 2007, Vol. 129 / 911.
2. K.-D. Bouzakis, S. Kombogiannis, A. Antoniadis, N. Vidakis. Gear Hobbing Cutting Process Simulation and Tool Wear Prediction Models: Journal of Manufacturing Science and Engineering FEBRUARY 2002, Vol. 124 Õ 43.
3. Грицай І.Є. Моделювання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Машинознавство. N7, 1998. С.19-23.
4. Грицай І.Є. Ситнік В.В.Силове поле шнекової зуборізної фрези та його кількісна оцінка. Оптимізація вироб. проц. та технічний контроль в машинобуд. Вісник ДУ"ЛП". Вип.371, 1999. - С.3-13.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Іванов В.О., к.т.н., доцент, Ващенко С.М., к.т.н., доцент, Залога В.О.,
д.т.н., професор
Сумський державний університет

Одним із перспективних напрямків інтенсифікації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва є розроблення та впровадження систем автоматизованого проектування верстатних пристроїв (САПР ВП), які дозволяють здійснювати проектні процедури, оцінювати ефективність верстатних пристроїв (ВП) та розробляти необхідну конструкторсько-технологічну документацію. Дані системи можна інтегрувати з САД/САЕ/САРР/САМ системами, а отже, виконувати повний цикл проектування, аналізу, синтезу та виготовлення ВП. Існуючі на даний час САПР ВП обмежені в своїй функціональності, що обумовлює низьку якість проектування, збільшує обсяг конструкторських робіт, що спричиняє зростання витрат часу на проектування ВП. Для уникнення цієї проблеми раціональним є створення принципово нової САПР ВП, що зробить проектування більш якісним, забезпечуючи аналіз, синтез, оптимізацію компонувань ВП.

САПР ВП є складною системою, яка складається з окремих модулів (підсистем), що обумовлює використання системного підходу для їх проектування. При такому підході при побудові системної моделі враховуються не лише властивості підсистем, а й зв'язки між ними. Проведення декомпозиції з метою виділення окремих підсистем дозволяє побудувати ефективну модель, яка б враховувала всі аспекти діяльності майбутньої системи. Таким чином, САПР ВП у загальному вигляді представляється такою залежністю:

$$S = \{Ind, Prp, Atr, Inp, Out, Str\}, \quad (1)$$

де *Ind* – позначення системи; *Prp* – цілі системи; *Atr* – загальносистемні характеристики; *Inp* – вхід системи; *Out* – вихід системи; *Str* = {*E*, *R*} – структура системи; *E* – компоненти системи; *R* – зв'язки компонентів.

З урахуванням предметної області, за якою буде працювати майбутня система, ідентифікатор *Ind* визначено як САПР ВП. Основною метою (*Prp*) створення системи комп'ютеризації інженерної діяльності, до яких належить САПР ВП, є інтенсифікація і підвищення ефективності процесу проектування ВП. Вхідною інформацією (*Inp*) є дані, що містяться в технічному завданні і отримані на попередніх етапах проектування. В узагальненому вигляді вихідною інформацією (*Out*) є модель оптимального компонування ВП та його конструкторсько-технологічні параметри. Загальносистемні характеристики (*Atr*) системи, що проектується: машинобудівного призначення, спеціалізована, індивідуальна. Структуру САПР ВП (*Str*) наведено і детально описано в роботі [1]. Об'єктом автоматизації в САПР ВП є процес проектування верстатного пристрою, який в свою чергу також складається з окремих етапів. У результаті детального аналізу процесу проектування складено структурно-функціональну модель [2], яка не лише визначає перелік та порядок проведення етапів, а й

встановлює взаємозв'язки між ними, в першу чергу – інформаційні. На рис. 1 представлено діаграму першого рівня декомпозиції, яка представляє узагальнений опис процедури виконання проектування ВП.

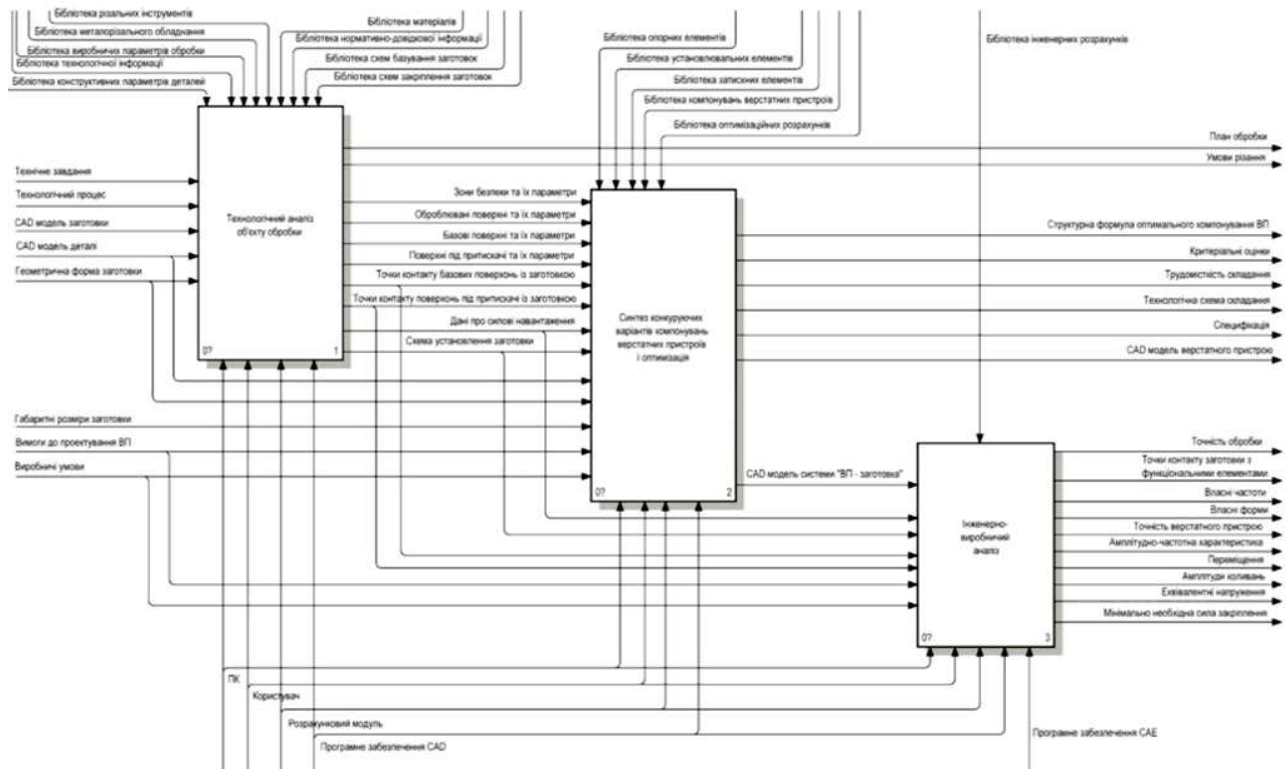


Рис.1. Діаграма декомпозиції процесу проектування верстатного пристрою

САПР ВП працює не з самим об'єктом проектування (в даному випадку – верстатним пристроєм), а з інформацією про нього. Важливою умовою ефективного функціонування будь-якої САПР ВП є інформаційна система, яка забезпечує підтримку процесу проектування ВП, накопичення та зберігання інформації конструкторсько-технологічного, загальноінженерного, нормативно-довідкового та оптимізаційно-розрахункового характеру. Фізичну модель бази даних [3] виконано у системі керування базами даних MySQL.

З урахуванням того, що система «CAFD» передбачає багатофункціональність і при цьому потрібно забезпечити можливість доступу користувача до довідкової інформації протягом усього розрахункового процесу, інтерфейс системи проектування виконано за технологією MDI-додатку: існує одне головне вікно, яке дозволяє формувати та відкривати кілька підпорядкованих вікон одночасно, які об'єднуються спільною робочою зоною та керуються спільним меню користувача. Робота з елементами інформаційного забезпечення реалізована через пункт головного меню «Бібліотеки». Для представлення нормативно-методичної інформації використовуються програмні модулі, які генерують стандартне вікно Windows з відповідним наповненням. Для роботи з таблицями бази даних також розроблено окремі програмні модулі, що реалізують графічний інтерфейс користувача і

дозволяють в зручному режимі доповнювати бібліотеку, переглядати, редагувати чи видаляти інформацію (рис. 2).

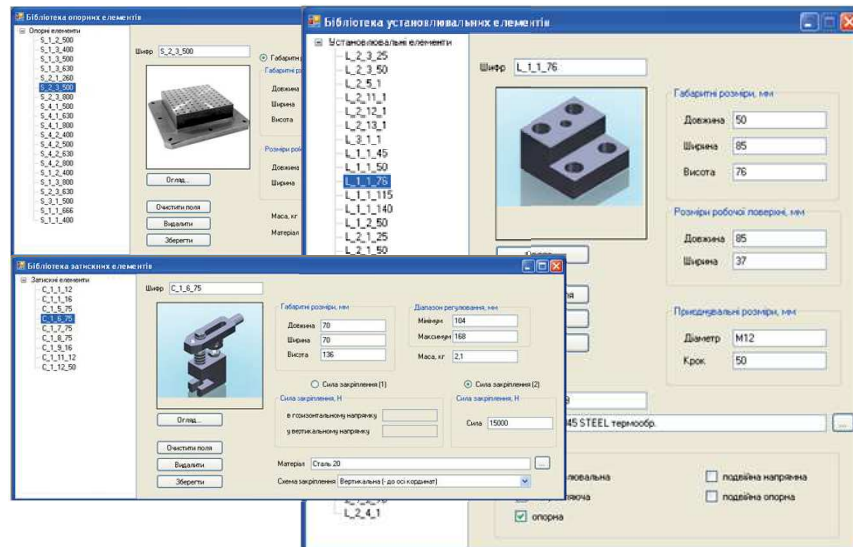


Рис.2. Вікно роботи з функціональними елементами верстатного пристрою

Складність і трудомісткість процесу проектування ВП, а також великий обсяг інформації, яка використовується та зберігається в САПР ВП, визначають актуальність та важливість питання забезпечення ефективності інформаційної підтримки проектування. За результатами проведеного дослідження обґрунтовано необхідність впровадження САПР ВП, використання якої дозволить скоротити термін технологічної підготовки виробництва, розроблено інформаційний простір, що забезпечує зручний та швидкий доступ до всієї необхідної інформації в електронному вигляді, яка зосереджена в одному програмному додатку. Враховуючи, що база даних дозволяє накопичувати результати проведених раніше розрахунків, в подальшому стає можливим організація модуля попереднього пошуку готових рішень компоновань верстатних пристроїв з метою зменшення часу на виконання проектних процедур.

Література:

1. Ivanov V., Vashchenko S., Rong Y. Information Support of the Computer-aided Fixture Design System. Proc. of 12th Int. Conf. ICTERI'2016, Kyiv, Ukraine, June 21–24, 2016, CEUR-WS.org, online CEUR-WS.org/Vol-1614/paper_37.pdf.

2. Іванов В. О. Структурно-функціональне моделювання процесу проектування верстатних пристроїв / В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, С. М. Ващенко, Й. Заяць, А. І. Кармаза // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 30–37.

3. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 70511, Україна, Комп'ютерна програма "Database for Fixture Design" / Іванов В. О., Ващенко С. М., Багрій Я. В.; авторські майнові права – Сумський державний університет; дата реєстрації 17.02.2017.

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД В УМОВАХ ВИКЛИКІВ «ІНДУСТРІЯ 4.0» ПЕРЕД ВЧЕНИМИ І ПРОМИСЛОВИКАМИ УКРАЇНИ

Кузнєцов Ю.М., *д.т.н., професор*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Двадцять перше століття, яке розпочало третє тисячоліття, висунуло перед людством багато викликів і змусило ще більше замислитися над пророчими словами нашого співвітчизника акад. Вернадського В.І. [1]: «С появлением на нашей планете одаренного разумом живого существа планета переходит в новую стадию своей истории. Биосфера переходит в ноосферу (сферу разума)».

Людину починають цікавити проблеми майбутнього: особистості, його родини, його країни, всього людства і навіть всієї цивілізації. Вчених починає турбувати філософія і конструювання майбутнього, що пов'язано з творчою діяльністю для розв'язання різних нагальних проблем [6]. І тут основні підказки надає нам Природа, де Людина є аналогом створення технічних і біотехнічних систем [4]. На думку автора в міждисциплінарному підході виступає гасло: **«Основним творцем є Природа, а Людина – одне з неперевершених її творінь і творець за своєю подібністю».**

Сьогодні суспільство, як ніколи, відчуває гостру потребу у вагомих інноваціях і активізації творчої діяльності, що вимагає міждисциплінарного системно-структурного підходу в умовах викликів четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» перед вченими і промисловиками [3, 6]. Спостерігається не тільки вплив, але взаємне проникнення технологій, коли їх кількість постійно збільшується, а межі між ними зникають [2]. Справа в тому, що вичерпуються природні ресурси, зменшується жива природа, зростають духовні і моральні запити людей, на фоні збагачення купки олігархів і наближених до них значна доля людей страждає від стресів, недоїдання і знаходиться за межею бідності.

В доповіді проілюстровані досягнення вчених КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках міждисциплінарних досліджень на стику розширених галузей у **вигляді NBICSE – технологій, де N – нано; B – біо; I - інфо; C - когно; S – соціо; E - еко.** До нових наукових досягнень можна віднести:

- запропоновану на кафедрі конструювання верстатів та машин концепцію створення і генетичного передбачення верстатів, роботів, робототехнічних систем та іншого технологічного обладнання з комп'ютерним керуванням на модульному принципі;
- відкриття на кафедрі електромеханіки Періодичної таблиці первинних джерел електромагнітного поля, внаслідок чого з'явилася **генетична електромеханіка**;
- закладення передумов появи **генетичної механіки** з новим поглядом на матеріальну точку, як носія генетичної інформації при синтезі складних антропогенних систем типу «об'єкт» і «процес» [3];
- відкриття механізму **«генетичної пам'яті»** в електромеханічних і механічних технічних об'єктах [6], завдяки чому вперше в технічних науках розроблені методи розшифрування генетичних програм і створено перші в світі технічні

об'єкти на рівні винаходів за їх генетичними моделями і кодами, в яких механічні кінематичні ланцюги замінені електромагнітними полями;
- створення **мобільних роботів довільної орієнтації** в просторі – новий вид робототехніки [5] з використанням біоніки та науковим підтвердженням реалізації підказок Природи стосовно переміщення комах з багатьма лапками по склу, стінах, стелі та тварин з багатьма кінцівками на пересічній місцевості та деревах.

Міждисциплінарний підхід і штучний інтелект дозволяє суттєво скоротити матеріальні і частково часові витрати на пошукові дослідження, забезпечує генетичне передбачення [6] і дострокові прогнози [7] розвитку нової техніки і нових технологій.

Література

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера /В.И.Вернадский.-М.: Айрис-пресс, 2007.-576 с.
2. Зленко Н.Н. Мировоззренческое значение технологий NBICS-конвергенции //Філософія науки: традиції та інновації, 2015, №1(11).- С.11-20.
3. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины //Вестник ХНТУ.-Херсон: 2017, №2(61). – С.67-75.
4. Кузнецов Ю.Н., Самойленко А.В., Хамуйела Жоаким А.Г. Человек – аналог создания технических и биотехнических систем //збірник «Вісник СевНТУ, серія: Механіка. Енергетика. Екологія», №133.-Севастополь: 2012. С. 195-203.
5. Кузнецов Ю.Н., Полищук М.Н. Перспективы применения мобильных роботов в Украине //Збірка тез доповідей за матеріалами МНТК «датчики, прилади та системи – 2018», Черкаси-Херсон-Лазурне, вересень 2018. – С.70-74.
6. Шинкаренко В.Ф. Междисциплинарный генетический подход в инновационных технологиях проектирования сложных технических систем /В.Ф.Шинкаренко, Ю.Н.Кузнецов //III МНПК «Інформаційні технології та взаємодії (IT&I-2016).-К.: КНУ ім.Т.Шевченка, 2016. – С.241-242.
7. <http://prognosis.org.ua//index.shtml>. Андрей Капаций. Прогноз развития науки и техники в 21-м столетии.

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

**Ковальов В.Д., д.т.н., професор, Васильченко Я.В., д.т.н., доцент,
Шаповалов М.В., Сукова Т. О.**

Донбаська державна машинобудівна академія

Інтеграція знань у цих областях механіки, електроніки, автоматики та інформатики дозволила зробити якісний стрибок у розвитку техносфери, підійти до створення принципово нових видів і систем обладнання. Мехатроніка, як галузь науки, присвячена аналізу і вибору законів виконавчих рухів машинних агрегатів з комп'ютерним управлінням, а також синтезу таких

агрегатів і машин на їх основі. У науковому плані, завдання створення мехатронних вузлів для металорізальних верстатів полягає не в елементарному об'єднанні механіки, управління та електроніки, а в створенні методів формально-логічного аналізу. В першу чергу це відноситься до механічної частини мехатронних модулів. Створення і застосування мехатронних модулів руху в металорізальних верстатах принципово змінює погляд на конструювання верстатів, переводячи їх на системний рівень, що враховує складні взаємозв'язки між проектуванням, виготовленням, складанням, налагодженням експлуатацією, ремонтом і утилізацією.

Досліджено методи моделювання процесу прогнозування толерантності набору параметрів металорізальних верстатів в автоматизованому виробництві. Проведено аналіз і оцінка методів моделювання прогнозу параметрів металорізальних верстатів на основі структур даних. Розроблено інформаційну систему прогнозування стану металорізальних верстатів як засобу підвищення ефективності автоматизованого виробництва.

Аналіз експлуатації важких токарних верстатів з ЧПК показав, що часто їх технологічна насиченість не відповідає конструктивно-технологічним характеристикам деталей. Розміри робочого простору верстатів іноді значно перевищують габаритні розміри деталей, число формоутворюючих рухів і інструментів в магазині також бувають зайвими. Це призводить до більш високої матеріало- та енергоємності верстатів, завищеної собівартості виготовлення деталей.

Розроблено функціональну модель основного процесу побудови функціонально-структурної моделі металорізального обладнання, що дозволило встановити всі процеси, що входять в основний процес, їх взаємозв'язок, вхідну і вихідну інформацію. Розроблено декомпозиції основного процесу, що формалізують послідовність розробки комплексних деталей-представників певної складності та побудови відповідних функціонально-структурних моделей верстатів. Розроблено математичні моделі, які дозволяють встановити функціональні залежності між складністю деталей, що підлягають обробці, функціями обладнання та функціональними блоками які їх реалізують.

Встановлено залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гама нового обладнання. Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК представлено на рис.1.

Із застосуванням функціонально-вартісного аналізу сформульовані головна, основні і допоміжні функції верстату і розроблена його узагальнена функціональна модель. В якості основних функцій верстату прийняті його формоутворюючі координати, від складу яких залежить ефективність обладнання. Розроблено функціонально-структурну модель верстату, що погоджує функції з функціональними блоками.

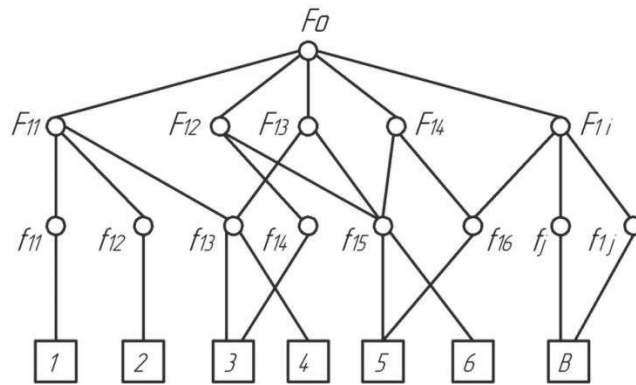


Рис.1. Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК:

F_0 – загальносистемна функція; F_{11}, \dots, F_{1i} – основні функції;
 f_i, \dots, f_j – допоміжні функції; B – функціональні блоки верстату

Відносні витрати Z_b по кожному функціональному блоку:

$$Z_b = (\sum^n P_i / \sum^k P_i) \times 100\%,$$

де $\sum^n P_i$ – сумарна значимість функцій для реалізації яких призначений конкретний блок;

$\sum^k P_i$ – сумарна значимість всіх функцій верстату.

Побудова функціонально-структурної моделі дозволяє встановити комплекс необхідних і достатніх (оптимальних) функцій, що реалізуються верстатом, і виконавчих механізмів, які їх забезпечують (агрегатів, вузлів і т.п.).

Таким чином, вперше на підставі статистичних досліджень параметрів механічної обробки запропонована концепція структурно-параметричного синтезу конструкцій важких верстатів, яка дозволяє визначити раціональні параметри важких верстатів, що враховують реальні виробничі умови. Встановлені необхідні конструктивні параметри важких токарних верстатів, які пов'язані з розмірами оброблюваних деталей і режимами різання, обґрунтовано доцільність створення верстатів за модульним принципом. Результати роботи впроваджені при створенні важких токарних верстатів нового покоління, що випускаються ПАТ «КЗВВ».

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ. ПАРАДОКС І МОЖЛИВОСТІ

Пасічник В.А. д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Розглянуті тенденції перетворення технологій швидкого прототипування у адитивне виробництво (АВ). Показане місце адитивних технологій (АТ) в системі сучасних процесів машинобудування. Дано тлумачення визначення АТ та класифікація основних типів. Розглянуті питання якості матеріалів, які доступні наразі на ринку матеріалів для АТ та особливості

забезпечення їх фізико-механічних властивостей на різних етапах виробничого процесу. Обговорені питання складності форм деталей, що виготовляються з використанням АТ. Наголошено на важливості обґрунтованого формозмінення на базі методів топологічної оптимізації та із застосування ґратчастих структур. Сформульовано “парадокс адитивних технологій” з точки зору впливу складності форми на вартість продукції. Підкреслено важливість орієнтації на нові методи проектування виробів, які б враховували можливості АТ. Визначено напрямки забезпечення ефективності застосування АТ та підкреслена незворотність їх широкого впровадження у всі сфери життя.

Ключові слова: адитивне виробництво, адитивні технології, адитивні машини, 3Д друк, 3Д принтер

За відносно короткий відрізок часу відбулась поява поняття і технологій **швидкого прототипування** (англ. *Rapid Prototyping*) та їх еволюція у **адитивне виробництво** (англ. *Additive Manufacturing*), тобто у той стан, коли застосування таких технологій стає економічно вигідним і вони займають свою нішу серед конвенціональних (традиційних) технологій високотехнологічного машинобудівного виробництва [1]. Тому будемо розуміти адитивні процеси не як альтернативу, а як доповнення конвенціональних процесів, сукупність яких може і повинна застосовуватись для досягнення мети сучасного виробництва – забезпечення випуску потрібної на ринку продукції у потрібній кількості, потрібної якості з найменшими витратами.

Основні процеси машинобудівного виробництва з точки зору впливу на форму виробу можна розділи на види:

Формні – такі що впливають на форму деталі. До них відносяться первинні процеси отримання заготовок, вторинні процеси отримання заготовок або деталей, процеси оброблення тощо;

Нонформні – такі, що не впливають на форму деталі, До них відносяться процеси зміни властивостей матеріалів, формування властивостей поверхневих шарів, процеси з'єднання тощо.

Аналізуючи варіанти зміни форми у формних процесах, їх можна розділити на класи:

Дистрибутивні процеси, результатом яких є зміна початкової форми (безформної або попередньо створеної) у нову форму заготовки або готової деталі шляхом **перерозподілу (дистрибуції) матеріалу**. До такого класу відносяться процеси типів первинні процеси отримання заготовок, вторинні процеси отримання заготовок або деталей.

Субтрактивні процеси, результатом яких є зміна початкової форми заготовки у нову шляхом **видалення (субтракції) частини матеріалу** з окремих поверхонь деталі. До такого класу відносяться процеси оброблення матеріалів.

Досить довгий час у переліку основних класів виробничих процесів були відсутні **адитивні процеси**, результатом яких є зміна початкової форми (від її відсутності до попередньо сформованої) шляхом **додавання матеріалу**. Саме

такі сучасні технології називають адитивними технологіями, а виробництво, яке в своїй основі містить їх, називають адитивним виробництвом.

Міжнародний стандарт ASTM F2792.1549323-1 визначає адитивні технології так: “*Additive Technology – process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies*”, що в перекладі буде “*Адитивні технології – це процес з’єднання матеріалів для створення об’єктів заданими тривимірних цифрових моделей, зазвичай шар над шаром, на відміну від субтрактивних технологічних процесів*”. Зазначимо, що не можна повністю погодитись з тим, що адитивні технології протиставляються субтрактивним. Мова йде про те, що **адитивні технології органічно доповнюють й розширюють спектр виробничих технологій.**

Цей стандарт виділяє 7 основних типів адитивних технологій, а саме:

1. **Material Extrusion** – витискування матеріалу;
2. **Material Jetting** – розбрикування основного матеріалу;
3. **Binder Jetting** – розбрикування зв’язуючого матеріалу;
4. **Sheet Lamination** – з’єднання листових матеріалів;
5. **Vat Photopolymerization** – фотополімеризація у ванні;
6. **Powder Bed Fusion** – розплавлення матеріалу в наперед сформованому шарі;
7. **Directed Energy Deposition** – безпосереднє підведення енергії у місце побудови.

Суть таких технологій достатньо детально розглянута у сучасних підручниках та монографіях, наприклад у [2]. Зазначимо, що при виборі та впровадженні у виробництво будь-якого з перелічених процесів завжди постає перелік таких обов’язкових питань.

1. Доступний матеріал та його фізико-механічні властивості;
2. Що можна зробити (змінити, удосконалити) з формою деталі;
3. Яка ефективність процесу.

Зупинимось на деяких аспектах цих питань.

Практично всі типи адитивних технологій дають на вибір великий спектр матеріалів, які суттєво різняться як за фізико-механічними властивостями, так і за ціною. Якщо говорити про технології, які дозволяють створювати вироби з металів, то, наприклад, компанія *GE Additive Company*, один з лідерів у постачанні на світовий ринок обладнання та адитивних технологій роботи з металом пропонує порошки на основі неіржавіючої сталі, жароміцної сталі, інструментальні сталі, кобальт-хромові сплави, сплави на основі нікелю, сплави титану, сплави алюмінію тощо [3]. Аналізуючи фізико-механічні властивості матеріалів слід розуміти, що вони є результатом цілого комплексу технологічних засобів як підготовки матеріалу до адитивного процесу, умов його перебігу й постоброблення. І навіть за таких умов слід розуміти, що виріб, отриманий за допомогою адитивних технологій має анізотропію фізико-механічних властивостей, аналогічно до того, як це відбувається з матеріалами при обробленні тиском. Провідні компанії, надаючи таблиці із характеристиками матеріалів, дають їх стосовно обладнання, на якому вони

вирощуватимуться й подаються у різних напрямках (в площині побудови, перпендикулярно або ж під кутом до площини побудови) окремими цифрами [4]. По деяких показниках різниця може бути в межах розбігу, а по деяких може сягати значень, які потребують урахування на етапі проектування виробу з урахуванням того, як він буде зорієнтований при вирощуванні. Найкращі на даний час технологічні рішення для роботи з металом, наприклад технологія селективного лазерного плавлення (англ. *SLM – Selective Lases Melting*) від компанії *GE Additive Company* гарантують високу щільність структури, відсутність пористості, зниження внутрішніх напружень за рахунок стохастичного опромінення, тобто інтегральні фізико-механічні властивості матеріалів, отриманих адитивним способом є не нижчими за такі, які гарантують процеси лиття. Проте слід розуміти й те, що відсутність сертифікату відповідності на процес для випадків деталей наукоємного машинобудування унеможлиблює просту заміну заготовки, яка отримувалась методами обробки тиском або ж литтям на високоточну заготовку, отриману адитивним процесом.

Тепер стосовно форми. Стосовно конвенціональних технологій діє правило, чим складнішою є деталь за формою, тим дорожчою вона є у виготовленні. Це пояснюється як ускладненням самого процесу, ускладненням його оптимізації і керування, здорожчанням оснастки. Саме цим пояснюється намагання розділити деталі на простіші, а відтак, і більш технологічні у виготовленні. При використанні адитивних технологій це правило не діє. Складність форми мало впливає на вартість виготовленої деталі. Більше того, якщо піти вірним шляхом свідомого ускладнення форми, застосовуючи при цьому методи топологічної оптимізації або ж вибудовуючи ґратчасту структуру матеріалу [5], ми навпаки отримаємо зменшення вартості. Один з прикладів такого підходу і його результати наведені у роботі [6]. Тому можна сформулювати **“парадокс адитивних технологій” – чим складнішою є форма деталі, тим швидше її виготовлення буде ефективним.** Взагалі питання “правильного проектування” виробів з урахуванням застосування для його виготовлення адитивних технологій потребує всебічного аналізу й широкого розгляду. Не слід очікувати ефективних рішень, намагаючись “надрукувати” деталі, які були спроектовані під верстати з ЧПК. В цьому контексті доцільно розглядати окремі питання “проектування, орієнтованого на адитивне виробництво” (англ. *DFAM - Design For Additive Manufacturing* [7]), яке є логічним розвитком “проектування, орієнтованого на складання” (англ. *DFA - Design For Assembly* [8]). При цьому можна застосовувати моделі і методи аналізу пристосованості виробу для складання [9], аналізуючи варіанти складання для різних конструкційних матеріалів [10]. Один з базових принципів методології DFA полягає у намаганні об'єднати кілька деталей в одну, після чого оцінити економічні витрати по різних варіантах на весь технологічний процес виготовлення й складання. Те саме слід робити і у випадку практичного застосування адитивних технологій. І це лише перший, найпростіший шлях. Значно більший ефект дасть застосування вже згадуваних підходів, що передбачають топологічну оптимізацію конструкції або ж

застосування гранчастої мікроструктури побудови. Ще одним важливим питанням є точність і деталізація форм. На даний час для виробів машинобудування адитивні технології не забезпечують досягнення точності, яка потрібна для відповідних з'єднань деталей, проте якщо згадати про можливість об'єднання кількох деталей в одну, то частина посадочних поверхонь, за винятком рухомих з'єднань, стає непотрібною. Найкраща досяжна точність сьогодні варіюється в межах 15-50 мкм [11], при великих обсягах камер для побудови моделей 800x400x500 мм і більше [12]. Широкі можливості дають адитивні технології з точки зору ускладнення форми внутрішніх каналів. Часто такі канали або дуже складно, або взагалі неможливо виготовити із застосуванням конвенціональних технологій. Таким чином адитивні технології в сукупності з методами цілеспрямованого ускладнення форми – це потужний інструмент в руках конструктора, який відкриває нові можливості, недосяжні раніше.

Стосовно ефективності застосування адитивних технологій, то неодноразово доводилось чути, що обладнання дуже дороге, матеріали дорогі, виготовлені деталі дуже дорогі. Хочеться зазначити, що все таке подібне вже не раз доводилось чути при появі нових технологій. Практичний досвід багатьох компаній світу свідчить [13], що вже сьогодні рішення, отримані на базі адитивних технологій є ефективними. Правильний підхід до урахування всіх складових витрат, правильний підбір технології і обладнання, застосування методології DFAM – ось запорука ефективності сучасного виробництва. Питання не є простим, адже тільки вибір адитивної технології та адитивної машини потребує урахування численних факторів, серед яких: вартість покупки комплексу; продуктивність машини; якість поверхні деталі; степінь деталізації (здатність відтворювати дрібні фрагменти); точність побудови; трудомісткість пост-оброблення; стабільність модельного матеріалу; термін служби машини до заміни основних вузлів; вартість модельних (основних й допоміжних) матеріалів; надійність й строки постачання витратних матеріалів та запасних частин; розвиненість технічної підтримки в регіоні; вартість поточного обслуговування машини; вартість сервісного контракту у постгарантійний період; надійність й довговічність машини; ресурс основних вузлів до заміни або капітального ремонту; необхідна кваліфікація персоналу, а відтак і його вартість; вимоги і витрати на облаштування й підтримку інженерної інфраструктури тощо.

Відмітимо, що суттєва економія може бути отримана шляхом суттєвого зменшення частки операцій механічного оброблення. Зменшення ваги позитивно відіб'ється на експлуатаційних властивостях виробів, для яких маса є критичною. Ускладнення оснастки для лиття під тиском шляхом додавання складних за формою внутрішніх каналів дозволить суттєво підвищити ефективність самої оснасти. Таких прикладів можна навести багато і з часом їх буде ставати все більше. Підтвердженням цього є динаміка ринку, численні дослідження і впровадження адитивних технологій у різних сферах промисловості [14].

У вже згадуваному джерелі [2] вказується, що “... здатність обробляти матеріали адитивним способом суттєво змінить цілі галузі й дозволить виробляти нові вироби, які не можна буде виготовити із застосуванням конвенціональних технологій. Це буде тривалий і глибокий вплив на виробництво й розподілення продукту, й відтак, на суспільство в цілому”. З цим важко не погодитись. Від себе додамо, що на високотехнологічні галузі машинобудування вплив буде не меншим, ніж вплив технологій механічного оброблення на верстатах з ЧПК, а скоріше за все — більшим. І станеться це не через 50 років. Цей процес вже розпочався, і, скоріше за все, вже протягом найближчих 5-10 років відбудуться суттєві зміни в частині поширення й поглиблення застосування адитивних технологій у наукоємному машинобудуванні.

Література:

1. Groover M. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 4rd ed. John Wiley & Sons, 2010. – 1011 p.
2. Gibson I. *Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2nd ed. / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Springer, 2015. 510 p. (DOI 10.1007/978-1-4939-2113-3)
3. Ресурс інтернету: режим доступу [11/05/2018] <https://www.concept-laser.de/en/technology.html>
4. Ресурс інтернету: режим доступу [11/05/2018] https://www.concept-laser.de/fileadmin//user_upload/Datasheet_CL_41TI_ELI.pdf.
5. Yang L. *Additive Manufacturing of Metals. The Technology, Materials, Design and Production* / Li Yang etc. Springer International Publishing AG 2017. 172 p. (DOI 10.1007/978-3-319-55128-9).
6. Galjaard S. *New Opportunities to Optimize Structural Designs in Metal by Using Additive Manufacturing*. ResearchGate, September 2015, (DOI: 10.1007/978-3-319-11418-7_6)
7. Yunlong Tang, Yaoyao Fiona Zhao, (2016) "A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 22 Issue: 3, pp.569-590 (<https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2015-0011>)
8. Boothroyd G. *Product Design for Manufacture and Assembly*. 3rd ed. CRC Press, 2011. 710 p.
9. Пасічник В.А. Бінарні відношення обмежень рухливості – основа математичного опису складальних виробів // Вісник НУ „Львівська Політехніка”. Серія „Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні”. Львів, Вид-во Львівської політехніки. – 2013, № 772. С. 214-220
10. Pasichnyk V.A., Khmurenko O.O. *Constructive-technological modeling of constructions using the system analysis*. *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 4, No 7(76) (2015) (DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47348>).
11. Ресурс інтернету: режим доступу [11/05/2018] https://www.concept-laser.de/fileadmin/Blaue_Broschueren/1708_X_LINE_2000R_EN_update_2_lowres_einzel.pdf

12. *Ресурс інтернету*: режим доступу [11/05/2018]https://www.concept-laser.de/fileadmin/Blaue_Broschueren/1708_Mlab_cusing_200R_EN_update_1__Eigendruck_X3.pdf
13. *Badiru A. Additive Manufacturing Handbook. Product Development for the Defense Industry*. Ed. Adedeji B. Badiru, Vhance V. Valencia, David Liu. CRC Press, 2017. 931 p.
14. André J-C. *From Additive Manufacturing to 3D/4D Printing 1*. John Wiley & Sons, Inc, 2017. 344 p.

НАПРАЦЮВАННЯ ІФНТУНГ У СФЕРІ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕРЕСУ ДО ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ СЕРЕД ШКОЛЯРІВ

¹Карпаш М.О. *д.т.н. професор.*, ²Дарвай І.Я., *к.т.н. менеджер проекту*,
¹Яворський А.В. *к.т.н. доцент*, ¹Жовтуля Л.Я., *к.т.н., доцент*
¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
²Громадська організація «Бюро розвитку, інновацій та технологій»

В сучасному світі ідея «едутейнмент» та «гейміфікейшн» (навчання через розваги) набирає дедалі більшої популярності. Ця ідея реалізується у різних форматах, які мають на меті не тільки розвагу, а й навчання. Наукові містечка – науково-освітні центри є домінуючим форматом реалізації такої ідеї.

Основний фокус в наукових містечках робиться на молоді – створюється доступне і легке для сприйняття середовище для вивчення матеріалу в межах та поза навчальним курсом у міждисциплінарний та творчий спосіб. Відвідування таких містечок слугує підтримкою основному навчальному процесу та має на меті створити інтерес та ініціативність у відвідувачів, а також створювати умови для побудови інноваційного способу мислення у молоді.

Івано-Франківськ є відомим науковим та освітнім регіональним центром. В місті та області існує велика кількість дошкільних навчальних закладів, шкіл, вищих навчальних закладів різних рівнів акредитації. Проте, науковий потенціал зосереджений саме в Івано-Франківську на базі трьох національних університетів, а в інженерній сфері – в ІФНТУНГ. Сукупність вказаних чинників зумовили потребу в побудові науково-освітнього центру «Нова енергія» при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Реалізований проект наукового містечка дозволив створити соціальний стартап – середовище, де молодь може ознайомитись із наукою та технологіями про енергію в дії. Містечко дасть змогу молоді різного віку (від 5 до 35 років) долучитись до науки через наочне та інтерактивне навчання, а також експерименти. Центральним в проекті буде роль енергії в житті людини на різних рівнях – від побуту через муніципалітети до глобальних процесів людства. Додатково при містечкові організовано консультаційний пункт з питань енергоефективності та енергозаощадження для дорослих, ряд тематичних гуртків різного спрямування. Наукове містечко також стало потужною туристичною атракцією регіонального масштабу.

Наукове містечко засноване 21.09.2016 року і презентоване до річниці заснування ІФНТУНГ. Загальний обсяг інвестицій в створення містечка перевищив 2 млн грн.

Середньорічна кількість відвідувачів складає 12 тисяч осіб.

НМ «Нова Енергія» ставить перед собою ряд завдань, серед яких основними є:

1. Популяризація науки серед молоді.
2. Просування бренду університету.
3. Професійна орієнтація молоді, доказом чого слугує динаміка набору студентів за напрямком електротехніка (таблиця 1).
4. Підвищення рівня освіти в ІФНТУНГ шляхом проведення екскурсій та практичних занять для напряму «Туризм», проходження практики студентів у нас.
5. Демонстрування сучасного іміджу університету в Україні та за її межами завдяки використанню інноваційних підходів в освіті і застосуванню передового обладнання.

Таблиця 1. Динаміка змін контингенту студентів

№	Назва спеціальності, програми	Роки		
		2016	2017	2018
1	Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	56	83	84
2	Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»	26	30	26

Наша команда – це 23 працівники, з яких 2 професори та 8 кандидатів технічних наук, аспіранти та магістри. У свою команду ми постійно залуцаємо активне свідоме студентство ІФНТУНГ, які розширюють свій кругозір та підвищують свою кваліфікацію завдяки участі у нових проектах різного рівня. За час існування ми залучили до роботи 10 студентів.

Організовано активну співпрацю із стейкхолдерами – за 2 роки існування містечка встановлено партнерські стосунки з такими компаніями, як ПАТ «Прикарпаттяобленерго», ПрАТ «Київстар», ДТЕК, Екоенергія, ROZEN, UTEM Solar, Бюро з питань екології Української греко-католицької церкви, ТОВ «Нафтогазовий науково-технологічний парк», ІТ-компанія «SoftServe», Івано-Франківський ІТ-кластер, а також Івано-Франківською міською та обласною радами.

Експозиція музею постійно поповнюється новими експонатами, які демонструють різні фізичні явища та наукові процеси. Більшість експонатів зроблені власноруч членами команди Наукового містечка «Нова енергія» та кафедри ЕМ і ТД (рисунки 1-3).

21 вересня 2018 відбулося відкриття нового наукового атракціону «Енергетичне колесо», яке є втіленням концепції енерго- та ресурсозбереження, виготовлення якого профінансувало АТ «Прикарпаттяобленерго», а також кілька інших нових експонатів.



Рис.1. Експерсія



Рис.2. Експерсія

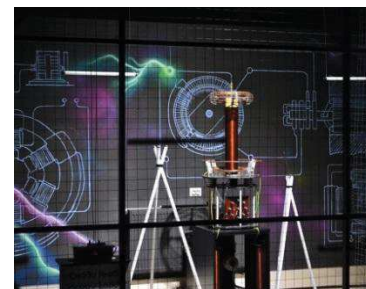


Рис.3. Тесла-Шоу

Література:

1. <http://newenergy.if.ua>

CONTROL OF THE MACHINES ON AXES IN ROBOTICS WITH THE SIEMENS PLC help

Barz Cristian, Pop Radu, Chiver Olivian, Zoltan Erdei, Mihaela Stet
Faculty of Engineering - Northern University Centre of Baia Mare

Abstract

The paper presents the practical solution used to control the axial movements of a robotic arm, which is realized with servomotors, which are controlled by frequency converters on each axis, in order not using CNC commands. This is done by programming the PLC ladder diagram language that makes movement on the three axes. Siemens PLCs have modules for pulse frequency control for axis movement in the library, thereby transforming the coordinate distances to be achieved in pulse trains for servo drive converters. Using PLC makes it easy to control robotic equipment for robotics-free operators.

Keywords – stepper motor, PLC, TIA portal, frequency converters

Introduction

Through its conception, a programmable controller is adaptable for functioning in the industrial environment, it can operate in a large variety of temperature and humidity, it is easily adaptable to interfacing with any process and does not raise any special problems regarding the training of service personnel, due to the programming facilities it offers.

At the present, it is estimated that over 60% of the total industrial commands in the advanced countries are carried out with PLCs, and this percentage is increasing. [1, 2]

For majority of equipment in industrial processes are using different type of PLCs, a lot dedicate for some type of process. The commands from the PLCs are transfer to execution elements for operating the CNC machines, robot movements on different axis, different stage of process, etc. Programing the PLC, we made like operators to can work with complex equipment or machines even have a qualification only for operator. We can create in the same way, the program for a CNC machine or for a robotic arm with some PLC module, which transfer the coordinators of movement on a specifically axis in the command of a stepper motor in pulses, which makes the transmission to the mechanical components of system. [3]

Stepper motors and frequency converter

Stepper motors are used in low power applications that are characterized by quick movements, precise, repeatable and to the cases where high power is not required (usual powers between field's microwatt and kilowatt), like xy plotters, moving print head printers, operating mechanisms for the robots axial displacement systems, tables positioning 2D drilling machines, in aviation etc.

The stepper motor is used in pair with frequency converters for control the equipment, frequency converter made the pulses for command the speed and angle of the stepper motor. The frequency converters can give a variety of pulses for a complete rotation of the stepper motor, this variety establishing how high will be the precision of move, it has range between 200 and 12800 pulses. The use of computers

or the PLCs for the control of complex processes is necessary to process signals and command the moves on different axis.

Stepper motor Nema 42 using in our application, was developed primarily for installation with restricted space available and which need an increased torque (Fig. 1). Nema 42 motor uses advanced magnetics technology to give the couple a level significantly higher than that of a standard motor device and it can be placed on the three displacement axis (X, Y and Z). [3, 4]



Fig. 1. Step by step engine and Microstep Driver 2M2280

STEP 7 - TIA Portal programming software

As part of the SIMATIC commitment to "totally integrated automation" (TIA), the S7-1200 product family and the TIA Portal programming software give to us the flexibility what we need to solve our automation needs. TIA Portal provides a user-friendly environment to develop controller logic, configure HMI visualization, and setup network communication. To help increase your productivity, TIA Portal provides a large library of module for using in application. The compact design, low cost, and powerful features make the S7-1200 compact controller a perfect solution for controlling small applications. [5]

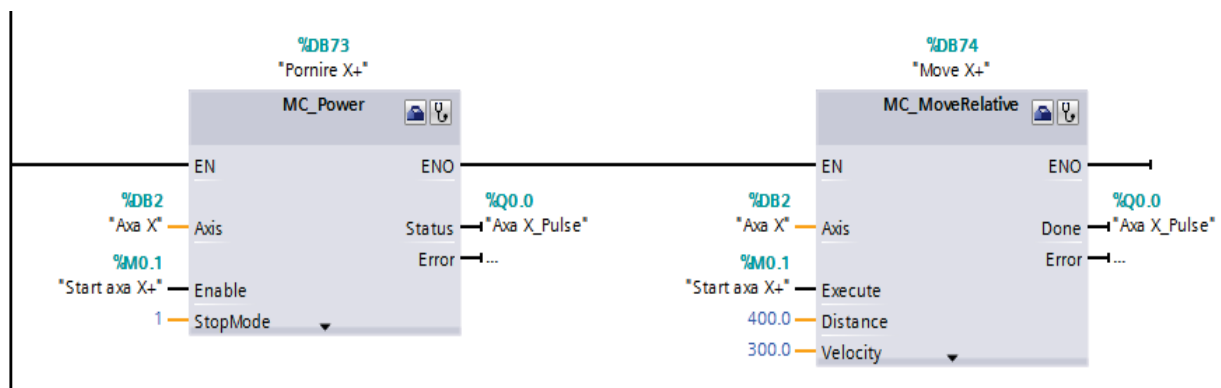


Fig.2. Power module and set module for distance and speed of stepper motor on X axis

In figure 2 it is present the settings of moves on X axis, give by distance which must be pass and the speed of movements. It is very important to set a good report between that in function about the type of operation, a big number of pulses for the steppe motor give us a great precision but in the same time, these will create an over temperature of motors if is very frequently use.

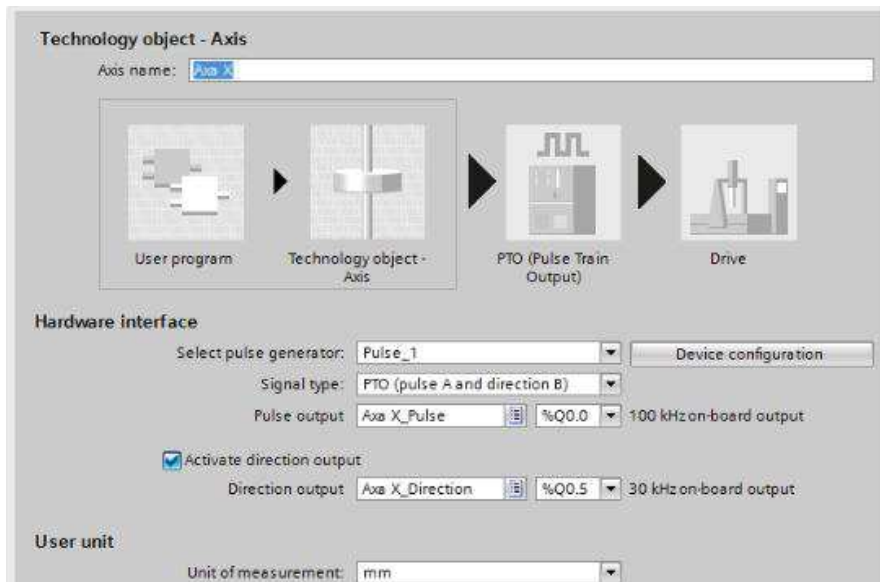


Fig.3. General settings for X axis

Figure 3 presents the options of setting for X axis, the data which can be used for controlling through HMI the movement in front and back on an axis, all these being made through pulses train give to the stepper motor with the frequency converter help.

It is necessary to continue with settings of pulses per motor revolution and the distance made on linear axis at a complete revolution of motor, with these the module convert the distance need to made on an axis in revolution of motor.

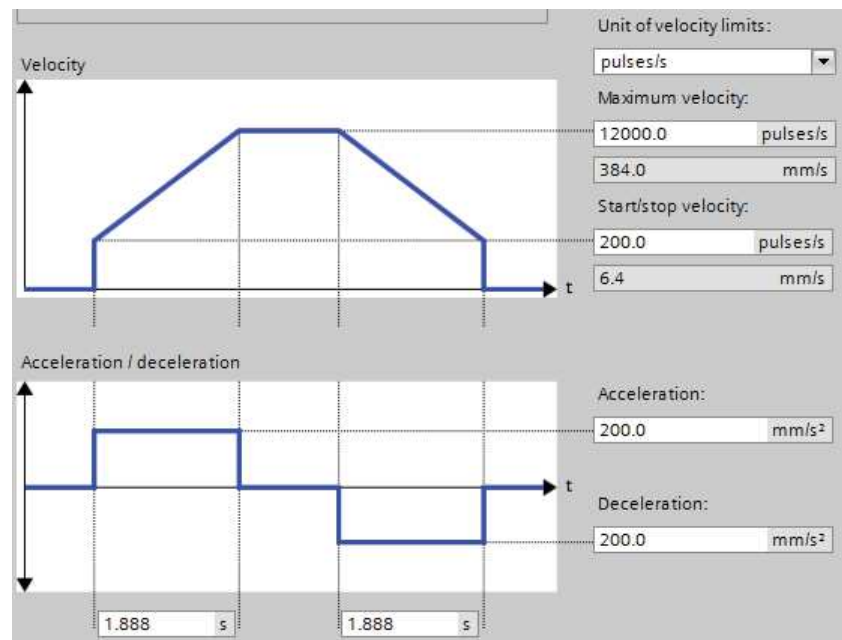


Fig.4. Dynamic setting of move

We have option for setting the Dynamic characteristics of steppe motor with period of acceleration and deceleration of speed for having a smooth movement. (Fig. 4).

After creating the program for control of moves on all axis, the operator need just to introduce the distance on the three axis and the PLC will convert these on movements of steppe motors.

Conclusions

The paper highlights the utility and importance of PLCs in the control of the industrial processes, command the function over three axis through simple dates of distance between coordinators, in order not using CNC commands. This is done by programming the PLC ladder diagram language that makes movement on the three axes of the arm by means of stepper motors.

PLC programming has the advantage of creating artificial intelligence by implementing control algorithms in the software and the ability to perform movements based on data provided by the sensors imposed by the developed.

References:

1. T. R. Kurfess, 2005 Robotics and automation handbook, CRC Press, Washington D.C.
2. Barz C., Oprea C., Erdei Z., Pop V. A., Petrovan F., The control of an industrial process with PLC, International Conference on Applied and Theoretical Electricity, pp. 1-4, Craiova, ICATE, DOI 10.1109/ICATE.2014.6972663, 2014.
3. Barz C., Latinovic, T., Deaconu, S., Preradovic, DM., Pop P.P., Pop-Vadean A., Using Moeller PLC in automation of an artesian fountains, International Conference on Applied Sciences (ICAS2016) 25–27 May 2016, Hunedoara, Romania, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 163 (2017) 012052, pp 1-12 doi:10.1088/1757-899X/163/1/012052.
4. Barz, C., Chiver, O., Zoltan, E., Horgos, M., Preradovic, D, Automation with MFD Titan for Lighting Control, Proceedings of the 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, ROMANIA OCT 20-22, 2016, Pages: 466-471, ISBN:978-1-5090-6128-0. 5.www.siemens.com

GREEN LIVING ROOF SIMULATION MODEL REVIEW

¹Dimitrijević Jovanović D., *PhD student*, ²Živković P., *PhD, professor*,
²Janevski J., *PhD, professor*, ²Vukić M., *PhD, professor*, ²Momčilović A., *PhD student*, ³Dobrnjac M., *PhD, professor*

¹*University of Belgrade, Institute for Nuclear Sciences Vinča*

²*University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering*

³*University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering*

Integration of nature, live, organic materials, in the design of built areas and building structure is an architectural response to environmental problems of dense urban areas. At the site where green space is limited, greening the building envelope is the solution for the issues such as heat waves, flooding, and noise and air pollution. The benefits could be predicted only using accurate simulation model of this

technology. The energy balance of green living roof was researched through models developed over the years by various authors. Most models have been developed and validated with data from extensive roofs and more than 50% of the models were validated using data from warm temperate climatic zones. Ability to determine the impact of green living roofs at different stages of their architectural design process is of most importance if the incorporation this technology is planned due to the impact on building and urban level.

References:

1. Chaoqiang J., Xuelian B., Te L., Min Z., Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China, *Urban Forestry & Urban Greening* 29, 2018, pp. 223–237
2. Berardi, U., Ghaffarian, H. A., A Comprehensive Analysis of the Environmental Benefits of Green Roofs, *Applied Energy*, 115 (2014), Feb., pp. 411-428
3. Castleton, H.F., et al., Green Roofs; Building Energy Savings and the Potential for Retrofit, *Energy Building*, 42 (2010), pp. 1582–1591
4. Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on the green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Build Environ* 2007;42(8):2971–9
5. Tabares-Velasco PC, Griffith B. Diagnostic test cases for verifying surface heat transfer algorithms and boundary conditions in building energy simulation programs. *J Build Perform Simul* 2012;5(5):329–46
6. Tabares-Velasco PC, Srebric J. Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof samples in a new laboratory setup. *Int J Heat Mass Transf* 2011;54(25):5149–62
7. Moody SS, Sailor DJ. Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy Build* 2013;60(Supplement C):262–9
8. Sailor DJ, Elley TB, Gibson M. Exploring the building energy impacts of green roof design decisions – a modelling study of buildings in four distinct climates. *J Build Phys* 2011;35(4):372–91
9. Herrera J, et al. A model for simulating the performance and irrigation of green stormwater facilities at residential scales in semiarid and Mediterranean regions. *Environ Modell Software* 2017;95:246–57
10. Djedjig R, et al. Development and validation of a coupled heat and mass transfer model for green roofs. *Int Commun Heat Mass Transfer* 2012;39(6):752–61
11. Sandoval V, et al. Porous media characterization to simulate water and heat transport through green roof substrates. *Vadose Zone J* 2017;16(4)
12. Alexandri E, Jones P. Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: comparison with experimental results. *Build Environ* 2007;42(8):2835–49
13. He H, Jim CY. Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecol Model* 2010;221(24):2949–58

14. Sailor DJ. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy Build* 2008;40(8):1466–78
15. Ouldboukhitine SE, et al. Assessment of green roof thermal behavior: a coupled heat and mass transfer model. *Build Environ* 2011;46(12):2624–31
16. Heidarinejad G, Esmaili A. Numerical simulation of the dual effect of green roof thermal performance. *Energy Convers Manage* 2015;106(Supplement C):1418–25
17. Decruz A. Development and integration of a green roof model within whole building energy simulation. Ph.D. Thesis. Nottingham, UK: University of Nottingham; 2016
18. Rakotondramiarana H, Ranaivoarisoa T, Morau D. Dynamic simulation of the green roofs impact on building energy performance, case study of Antananarivo, Madagascar. *Buildings* 2015;5(2):497
19. Munck CS, et al. The GREENROOF module (v7.3) for modelling green roof hydrological and energetic performances within TEB. *Geosci Model Dev* 2013;6(6):1941–60
20. Tang X, Qu M. Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. *Energy Build* 2016;121:165–75
21. Arkar C, Domjan S, Medved S. Heat transfer in a lightweight extensive green roof under water-freezing conditions. *Energy Build* 2018;167:187–99
22. Heusinger J, Sailor DJ, Weber S. Modeling the reduction of urban excess heat by green roofs with respect to different irrigation scenarios. *Build Environ* 2018;131:174–83
23. Chan ALS, Chow TT. Evaluation of overall thermal transfer value (OTTV) for commercial building
s constructed with green roof. *Appl Energy* 2013;107:10–24
24. Sailor DJ, Hagos M. An updated and expanded set of thermal property data for green roof growing media. *Energy Build* 2011;43(9):2298–303
25. Tabares Velasco PC. Predictive heat and mass transfer model of plant-based roofing materials for assessment of energy savings Ph.D. Thesis Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University; 2009

MOBILE APPLICATION ON ANDROID FOR CALCULATION OF ROUND ROLLS CUTTING USING JAVA TECHNOLOGIES

¹Sergey Dobrotvorskiy, prof., ²Jan Pitel, prof., ³Ewa Dostatni, acc.prof., ⁴Milan Edl, prof., ¹Serhii Gnuchykh, postgrad., ¹Ludmila Dobrovolska, acc.prof.

¹Vadim Prichodko, mast., ¹Evgeniy Sokol, prof.

¹*National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” Kharkiv, Ukraine,*

²*Technical university of Kosice, Presov, Slovakia,*

³*Poznan University of Technology, Poznan, Poland,*

⁴*University of West Bohemia*

Within Industry 4.0, a special role belongs to the development and creation of mobile applications for solving practical production problems. The modern

production cycle is currently most accurately represented in the form of a CAD / CAM / CAE / CAPP / PDM / PLM ... / ERP structure. In [1], a new ERP system structure was proposed, based on the use of microservices, i.e. a set of modular compatible programs developed on a single Java platform within the framework of the JawaMach cluster ideology.

This paper deals with the development and creation of an open source mobile modular program for solving the tasks of technological preparation of production. The program should provide assistance in automating the calculation of the number of workpieces obtained from round standard rolled products using various technological methods of cutting (mechanical, plasma, laser, etc.), taking into account the material losses for cutting and the tolerance for cutting the rolled material along the length.

The main tasks that need to be solved to create an application: develop a rental database and develop a program for calculating blanks for parts such as "rolled round bars". The typical limiting geometrical and physical parameters of rolled products were considered [3,4,5]. Diameter from 5 to 270 mm; Length from 2 to 12 meters - carbon steel of usual quality and low-alloy steel; from 2 to 6 meters - high carbon and alloy steel; - from 1 to 6 meters - high alloy steel.

Analysis of the software designed for writing the program showed that Android programming is increasingly the most popular and, based on it, the phone promises to be the main platform for the development of corporate mobile applications [6,7]. When writing programs for Android, we used the latest version of the Java language. To develop the program, we used Android Studio, an integrated development environment for Google products, thanks to which tools are available to create add-ons on the Android OS platform. To read the information, we chose the internal database of the SQLite type database. To create the database, the SQLite Expert program was selected.

To fill the database, information obtained in accordance with GOST 2590-2006, DIN and other domestic and foreign sources was analyzed and summarized. Elements of the program are creating screen elements, reading information, playing information on the screen, selecting or writing information by the user, obtaining information that is sufficient for calculating the weight of the workpiece taking into account the cut, the cost of the workpiece that is displayed on the screen.

The developed mobile application allows you to minimize the time and financial costs of making optimal decisions on the manufacture of blanks for the production of parts. It can be used both during the technological preparation of production and directly in the conditions of procurement workshops and warehouses. You can implement the above calculation method for other aspects of production and make more modular programs to automate the calculation processes for production.

Literature:

1. Sergey Dobrotvorskiy, Adam Hamrol, Ewa Dostatni, Milan Edl, Serhii Gnuchykh, Ludmila Dobrovolska, Evgeniy Sokol. JawaMach Cluster in Industry 4.0. MMS 2018 - 3rd EAI International Conference on Management, Manufacturing

Systems, November 6-8, 2018, Dubrovnik, Croatia. Copyright © 2018 EAI DOI 10.4108/eai.6-11-2018.2279655

2. E.I. Sokol, S.S. Dobrotvorskiy, A.A. Permyakov, S.S.Gnuchukh, JAVAMACH CLUSTER - SINGLE PLATFORM OF PRODUCTION, SCIENCE, AND MANUFACTURE ISSN 2078-7499. Modern technologies in machines, 2017, VIP. 12. (<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/31335>).

3. GOST 2590-2006 Hot-rolled round steel. Range.

4. Rudenko P.A. Design and manufacture of blanks in engineering. K. : Vyscha Sc. 1991 - 247 s.

5. http://metalsea.ru/krug_stalnoi

6. <http://wnfx.ru/android-studio-ide-ot-google/>

7. <http://www.fandroid.info/>

HEAT EXCHANGER MATERIAL SELECTION BY USING *MCDM Solver*

Dušan Petković, Predrag Živković, Miloš Madić, Goran Radenković

University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, Serbia

ABSTRACT

Engineers in design process are often faced with a various selection problems. One of them is materials selection which plays an important role in engineering design. Knowledge of material properties, cost, design considerations and their influences are mandatory for design and manufacturing of different types of thermo-mechanical components. Therefore material selection process becomes a complex and time consuming task. Selection of the most appropriate material involves the study of a large number of factors, such as thermal, mechanical, electrical, chemical and physical properties as well as cost considerations and machinability of available materials. Heat exchanger is a design part which takes heat from one fluid and passes it to a second. Selection of the most suitable material for a heat exchanger is a multi-criteria decision making (MCDM) problem with diverse objectives. In order to help decision makers in solving this type of problems a decision support system named MCDM Solver is proposed.

Keywords: Material selection, Heat exchangers, Multi-criteria decision making, MCDM Solver, decision support system

MATERIALS AND TECHNOLOGIES USED IN THE PRODUCTION OF HIGHLY LOADED GEAR WHEELS

¹Jan Zwolak, ²Stanisław J.Skrzypek, ³Dominik Kozik

¹*PWSZ im. J. Grodka w Sanoku (Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok)*

²*AGH im. S. Staszica w Krakowie (AGH-University of Science and Technology)*

³*Centrum Nowych Technologii Dominik Kozik (Center of New Technologies Dominik Kozik)*

The gear wheels are included the most important machine elements used in stationary drive systems and mobile technology devices as well as all kinds of motor vehicles. Hence the need to use appropriate materials and appropriate technology of mechanical processing as well as heat treatment or thermo-chemical treatment in order to obtain high strength properties leading to maximization of service life.

The presented abstract concerns research work on a wide range of materials, technological issues, fatigue contact strength σ_{Hlim} , the fatigue strength of the tooth σ_{Flim} and X-ray method of measuring residual stresses and retained austenite content in the surface layer. The tests were carried out on modelled gear wheels made of five steel grades: steel 8620, 4817 according to AISI and steel according to PN 18 HGM, 18 H2N4MA, 20 HG.

Two methods were used in the finishing treatment of the teeth: grinding after carburizing and hardening, and turning with final carburizing and hardening. In both technological variants, the carburized layer was characterized by a hardness of 60 - 62 HRC. Grained wheels with final carburizing and hardening obtained a higher value of compressive residual stresses, and a lower content of retained austenite compared to wheels ground after carburizing and hardening. Fatigue tests were carried out on the test bench in the circulating power system. In the case of fatigue testing of contact strength σ_{Hlim} the parameters of the gears were as follows: $z_1 = 17$, $z_2 = 23$, $m = 6$ mm, $\alpha_0 = 20^\circ$, $x_1 = 0.4888$, $x_2 = 0.46$. However, in fatigue tests for the strength of the tooth root σ_{Flim} , gears with the following parameters were used: $z_1 = 27$, $z_2 = 35$, $m = 4$ mm, $\alpha_0 = 20^\circ$, $x_1 = 0$, $x_2 = 0.2574$. The fatigue contact strength σ_{Hlim} was determined at the base number of load cycles $N_G = 50 \times 10^6$, and the fatigue strength of the tooth root σ_{Flim} at $N_G = 10 \times 10^6$. In each case, from the five steel grades used, the technology of final carburization and hardening ensures higher fatigue contact strength σ_{Hlim} , as well as higher fatigue strength of the tooth root σ_{Flim} compared to the technology of grinding after carburizing and hardening.

On the example of AISI 8620 steel, the determined numerical values of fatigue contact strength σ_{Hlim} and fatigue strength of the tooth root σ_{Flim} depend on: $\sigma_{Hlim} = 1459$ MPa, $\sigma_{Flim} = 455$ MPa in grinding technology. However, by using the shaving technology, the values of these parameters are: $\sigma_{Hlim} = 1492$ MPa, $\sigma_{Flim} = 488$ MPa.

EXPERIENCE IN TEACHING ENGINEERING DISCIPLINES IN THE LIGHT OF TODAY'S CHALLENGES

Kornuta V. A. , PhD, associate professor, Kornuta O. V. , PhD, associate professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Mobile communications under the current 4G standard, along with the proliferation of smartphones that support this standard, have a significant impact on teaching conditions. On the one hand, students and the faculty get the opportunity to quickly find the right information. On the other hand, social networks, messengers, entertainment resources, available in the auditorium, lead to a decrease in concentration. There is a known problem of "clip thinking" [1], which develops due to the style of network communication. It is further enhanced by switching the attention of the audience to the Internet and back.

Simple arguments suggest possible solutions to the problem: the prohibition of the use of mobile devices; limiting the technical capability of using mobile devices. The first way is called administrative, the second one is technical. There is also a combined path: the ban is intensified by technical means of detecting the use of mobile devices and imposing appropriate penalties.

Many schools have used the administrative way, as evidenced by the implementation of the Procedures for conducting the educational process, backed up by the appropriate organizational and administrative documents. Technical and combined paths are often used in various tests. Without a deep analysis of the economic, environmental and pedagogical effectiveness of such measures, we note that they (measures) can be attributed to prohibited and, in our opinion, counterproductive. Capacity is to create an artificial limited environment for the future specialist, which prevents the ability to acquire the skills to quickly search and apply the necessary information in stress situations [2]. Such measures provide the opportunity to differentiate students by the indicators of their mental works, and not by the indicators of the efficiency of solving professional problems in current state.

Prohibition methods lead to unproductive waste of time for teachers and students. The teacher spends time monitoring the access of students to mobile devices or applies non-legal methods for the temporary alienation of a student's personal property. Students, instead of focusing on finding relevant information and accomplishing their tasks, are forced to scrape information or take steps to avoid the teacher's attention. Such a situation leads to a reduction in the threshold of tolerance to bad methods on the part of the student. In the context of limited time resources and the postulating of academic integrity as a base value, prohibitive methods should be used only on some control measures to assess the student's personal characteristics. Restrictions during lectures, practical or laboratory work are counterproductive.

Instead of prohibitive methods, it is worthwhile to use the opportunities that provide access to the Internet from mobile devices in pedagogical practice. For lecture classes an effective approach is an interactive lecture-colloquium.

The teacher in the process of preparation for the classroom searches for information on issues that need to be addressed at the lecture, using the web search

services and prepares a selection of materials. Presumably, in nowadays conditions, this is a generally accepted approach, which in this paper is called traditional. However, unlike the traditional approach, in preparing an interactive lecture-colloquium, the teacher's job is not only to prepare a compilation of material, but to develop such search queries that are likely to lead to the issuance, on the first page of search results, of references to resources where the information is published, which lecturer assessed as reliable and relevant to modern scientific positions. Search queries should be formulated as subclauses in the topic of the lecture session.

In the beginning of classes the teacher tells the students the electronic addresses for communication and coordinates the technological aspects (passwords for access to the wifi network, availability of mobile internet, search engine and query language, messenger). As the practice of conducting classes shows, all 100% of students as of today have mobile devices at their disposal, which allow them to access and work on the Internet. Therefore, technological constraints (the situation of digital inequality) can be neglected.

During the class, the teacher tells the subclauses to the topic, and students search for information using subpoints as search queries. The purpose of the students is to quickly evaluate the results of the search and create a collection of references or quoting materials in the synopsis. To find materials for each sub-item is given a definite term (5-7 min.) The student creates a synopsis in the form of a text-graphic document locally or in a "cloud" environment. At the end of the class, students send out notes to the teacher's e-mail. If, for some reason, the summary was not able to form during the class, the student forms it during their selfwork and sends it to the teacher, as a rule, until the next lecture session or until the end of the module.

During the course of a student search, the teacher can deliver the material that he found during the preparation for a lecture, to highlight certain peculiarities or nuances from practical experience or specialized scientific publications, etc. If students have questions during the search, they ask their teacher orally or through a messenger and receive answers.

The advantage is that students and teachers find new sources for information that is relevant and up-to-date, students have a self-created abstract and links to topical Internet resources. The teacher can evaluate it as a result of completing the colloquium, thus making the assessment easier because the notes are text in block letters. In addition, the teacher can point students to inconsistencies that occur in online sources, or inadequate relevance, reasonableness of information or its reliability. This is important because students are currently looking for information on the Internet, but for the most part, they can not evaluate its quality, because they do not yet have the appropriate competence.

In the described approach, students use their gadgets in classes to receive professional information and skills for finding and quickly evaluating them. Since gadgets are busy performing tasks, they do not divert students' attention from the classroom, or such a distraction is minimized.

The described approach to lecturing was used on the following disciplines: the Internet technology, innovative technologies of IT creation, the basis of automated designing of construction, which are taught to different specialties. Some students

noticed that they could do such a search independently, without the need for a teacher. However, in the process, such comments disappeared, as students received answers to questions that could not be found on the Internet sources. Also, sometimes there were situations when students found obsolete, distorted or false information.

Conducted at the end of the semester, test has shown that students who took an active part in finding information, formed their own notes on the results of the search during interactive lectures, gave more correct answers to the questions and accordingly received a higher score. Hence, the quality of their knowledge turned out to be higher than that of students for whom traditional lectures were read. In addition, such students have better fulfilled the tasks of practical and laboratory work.

The best results of their work, according to our observations, are due to the fact that students used already prepared theoretical materials, without having to spend time searching for them, or more likely to find relevant information. This allows us to conclude that, in modern terms, interactive lectures, in the described sense, are effective pedagogical methods.

Literature:

1. Pryhorovska Tetiana, Kornuta Olena, Potiomkina Nataliia. Experience of “Clip” Course Development: “Internet Technologies in Economics” Case. // 10th Annual Conference on Higher Education Pedagogy “PROCEEDINGS”. February 14-16, 2018 . The Inn at Virginia Tech and Skelton Conference Center Virginia Tech, Blacksburg, Virginia 2018. PP.115-116

2. L. Y. Shkitsa, V. G. Panchuk, V. A. Kornuta 2017 Innovative methods of popularizing technical education IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 200 pp. 12-23

EVALUATION OF THE DURABILITY OF HARD-FACED LAYERS WELDED ON THE CONICAL PICKS ON THE BASIS OF LABORATORY TESTS

**Krauze Krzysztof, Prof., Bółoz Łukasz, Ph.D. Eng., Wydro Tomasz, Ph.D. Eng.,
Mucha Kamil, M.Sc. Eng.**

AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland

The measurement of the wear rate of tangential-rotary picks (also known as conical picks) is aimed at determining their durability. The measurements have to be made under identical conditions to make sure that the results are reliable, reproducible, and probabilistic. This will allow for the evaluation of the durability of the pick as well as the comparison of different picks. In industrial conditions, the durability of cutting picks is usually defined as a ratio of the number of replaced picks to the volume of extracted material. Most frequently, it is the number of worn picks necessary to obtain 1000 Mg or m³ of extracted material. However, under

laboratory conditions, the wear rate (durability) of the pick (or picks) is most-effectively determined on the basis of the loss in its (their) weight in relation to the volume of rock specimen extracted with this pick (these picks).

The tests were conducted for four types of conical picks with the same structural parameters and made of different grades of alloy steels and with the different surfaces of the operational part protected with hard materials. The tests were carried out for two sets of standard picks and two sets of picks which had been hardfaced with different electrodes to improve their durability. The length of the operational part of all picks was 90 mm, the edge angle was $2\beta_u = 90^\circ$ and they were equipped with sintered carbide insert $\phi 22$.

The tests were performed on the following picks:

- standard picks, commercially available made of S235 steel and heat treated with hardness of the operational part 45 HRC - 4 picks - marked as Commercial S235 (Fig. 1a),
- picks hardfaced using EP-TB-1-6 electrode with hardness ± 50 HRC - 4 picks (the Commercial S235 picks were used for hardfacing) - marked as Hardfaced S235 (Fig. 1b),
- standard picks, commercially available made of 35HGS steel and heat treated with hardness of the operational part 48 HRC - 4 picks - marked as Commercial 35HGS (Fig. 1c),
- picks hardfaced using EP-TB-2-46 electrode with hardness ± 60 HRC - 4 picks (the Commercial 35HGS picks were used for hardfacing) - marked as Hardfaced 35HGS (Fig. 1b),

It is easy to see that the commercial and hardfaced picks were used for the tests, were made of steel grades S235 and 35HGS. In either case the electrodes, which were used to hardfacing, were supplied by the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas from Ukraine.

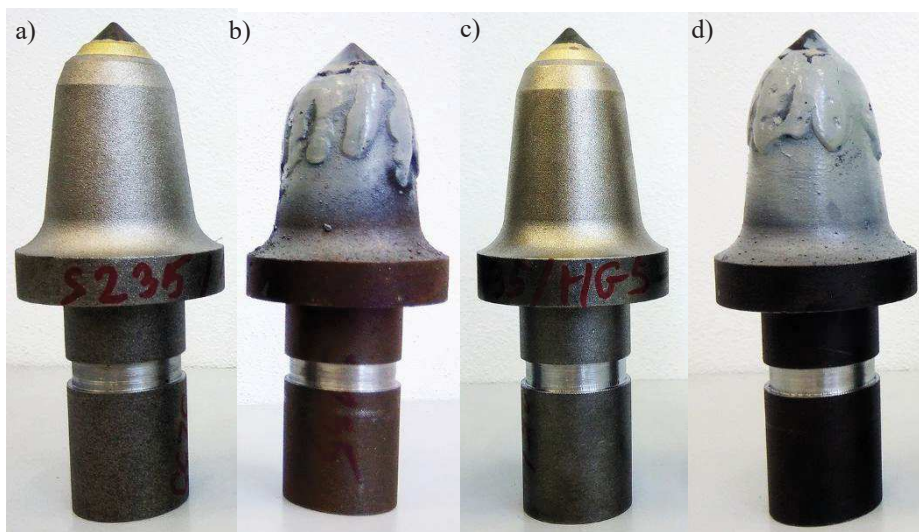


Fig. 1. Selected picks intended for testing: a - Commercial S235, b - Hardfaced S235, c - Commercial 35HGS, d - Hardfaced 35HGS

Tests were performed on a laboratory test stand to research the cutting process or rotation drilling with the use of a single cutting tool or cutting drum, the property of the Department of Mining, Dressing, and Transport Machines of the AGH UST in Krakow (Fig. 2). This is used to perform comprehensive laboratory tests related to the widely-understood rock-cutting process. This particular test stand allows us to perform the cutting process with a particular cutting head on an artificial or natural rock sample under laboratory conditions.



Fig. 2. Laboratory test stand to research cutting process or rotation drilling with use of single cutting tool or cutting head

To assess the durability of the picks provided for the tests, the wear rate defined as the total loss in weight of the picks in relation to the volume of the extracted material during the cutting test of an artificial rock sample. The assumed definition of the parameter that defines the durability of picks and the requirements pertaining to testing their wear rate resulted in the approval of the proper research plan.

During the tests, a cement-sand sample consisting of cement, sand and basalt aggregate, with an invariant mass $\gamma_w = 2.3 \text{ Mg/m}^3$ and a uniaxial compression strength $\text{USC} = 30 - 35 \text{ MPa}$. Due to the high strength and abrasiveness of the sample, the advance speed v_p was set at 0.05 m/min and the number of revolutions of the test drum $n = 42 \text{ rpm}$. The outside diameter of the test drum $\phi 1863 \text{ mm}$.

After the milling process, the picks were photographed and their weight was measured. Following the measurement of the weight of the picks, the volume of the cut material extracted with these picks V_u was calculated. The volume V_u is a calculated value and is determined on the basis of the measured web cut, diameter of the cutting head and length of the cut. After this, it was possible to determine the factor characterizing the wear rate of the tested picks C2. The tests of all types of picks were performed in accordance with the approved methodology and research

plan. The following should be noted: the lower the value of the C2 parameter, the lower the wear rate of the pick.

The conducted tests of the wear rate of conical picks showed that the type of protective layer on the operational part of the pick, the steel grade applied to the picks' bodies and the pick position on the test drum, have a significant influence on their durability. A further search for the protective layers of the operational part of the pick is required to determine the best and the cheapest protective layers to increase their durability, especially in hard and/or abrasive rocks.

References:

1. Kotwica K.: *Effect of selected working conditions of cutting picks on their wear during the mining of hard rocks*. Quarterly Mechanics and Control 3/2010, pp. 110–119.
2. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T.: *Parametric factors for the tangential – rotary picks quality assessment*. Archives of Mining Sciences 1/2015, pp. 265–281.
3. Krauze K., Skowronek T., Mucha K.: *Influence of the hard – faced layer welded on tangential – rotary pick operational part on to its wear rate*. Archives of Mining Sciences 4/2016, pp. 779–792.
4. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T., Mucha K.: *Durability testing of rotary-tangential picks made of different materials*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 1/2017, pp. 26–34.
5. Bołoz Ł.: *Results of a study on the quality of conical picks for public procurement purposes*. New Trends in Production Engineering vol. 1 iss. 1 2018, pp. 687–693.

NUMERICAL CRASH TESTS OF MODERNIZED HEAD STRUCTURE OF THE ED72 ELECTRICAL TRAIN UNIT ACCORDING TO THE EN 15227 STANDARD

^{1,2}Nycz D.B., PhD Eng, ³Frączek R., ³Paldyna M., ²Miszczak K.,
²Orzechowski W., ²Kawalek Ł.

^{1,2}Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok, Poland

²DES ART Sp. z o.o., Sanok, Poland

³ZNTK Mińsk Mazowiecki S.A., Mińsk Mazowiecki, Poland

The aim of the project was the modernization of the head structure of the ED72 train unit including static (EN 12663 standard), crash (EN 15227 standard) and fatigue strength (DVS 1612 standard) requirements. The ED72 is an electrical train unit consisting of four wagons (two steering and two motor) [1, 2].

The work presents numerical crash calculations of the modernized head structure of the ED72 based on EN 15227 standard. The focus was on collision

scenario with the large deformable obstacle LDO [3]. The calculations were carried out in the Altair HyperWorks environment.

The EN 15227 standard classifies rail vehicles in four categories [3]:

C-I - vehicles designed to operate on TEN (Trans European Network) routes, international, national and regional networks (which have level crossings); e.g. locomotives, coaches and fixed trainunits,

C-II - urban vehicles designed to operate only on a dedicated railway infrastructure, with no interface with road traffic; e.g. metro vehicles,

C-III - light rail vehicles designed to operate on urban and/or regional networks, in tracksharing operation, and interfacing with road traffic; e.g. tram trains, peri-urban tram,

C-IV - light rail vehicles designed to operate on dedicated urban networks interfacing with road traffic; e.g. tramway vehicles.

The ED72 train unit belongs to C-I category according to EN 15227 standard. For this category, three collision scenarios are required [3]:

1/ collision with an identical train unit- collision velocity 36 km/h,

2/ collision with the 80 tons wagon - collision velocity 36 km/h,

3/ collision with the large deformable obstacle (LDO) - collision velocity v_{lc} – $50 \text{ km/h} \leq 110 \text{ km/h}$ collision velocity (v_{lc} - maximum train unit operational velocity at a level crossing).

LDO must have mass of 15 tons and a center of mass 1 750 mm above the rail level [3].

The stiffness characteristic of the LDO in the collision direction must match to the stiffness specified by the standard (the standard curve is the minimal characteristic; fig. 1b) [3].

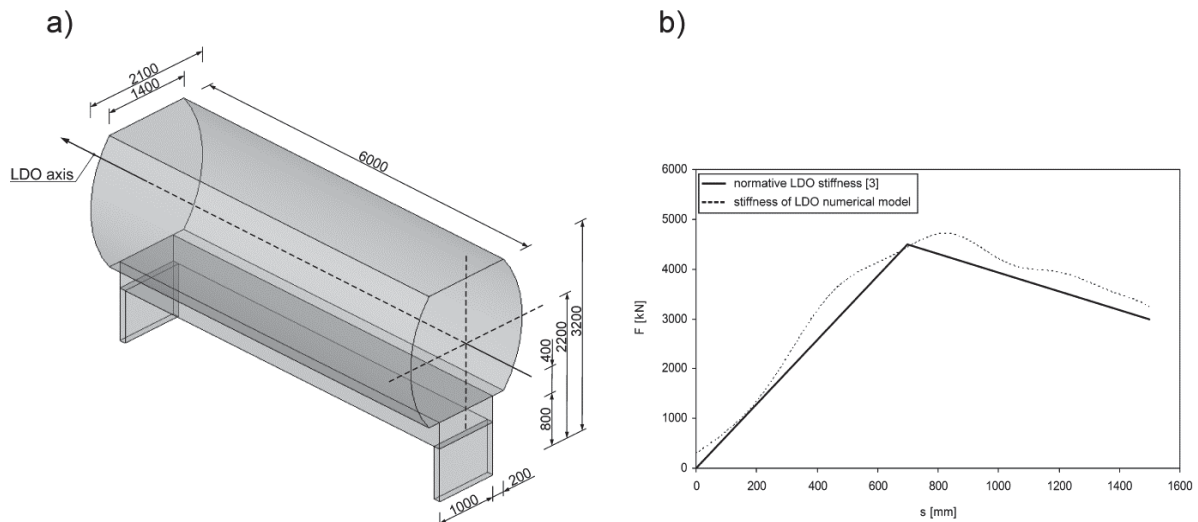


Fig. 1. Large Deformable Obstacle LDO: a) geometry; b) stiffness characteristics [3, 5]

The matching to the standard characteristic is obtained by the numerical crash test of a rigid sphere of diameter of 3 m, mass of 50 tones and initial velocity of 30 m/s, impacting in to the LDO model. The closer are the obtained characteristics to the standard characteristic, the more favorable results can be expected using the obstacle model in numerical simulations [4].

Fig. 2a present the modernized ED72 head structure, developed based on static and fatigue (base material and welds) strength calculations. The results of the numerical collision analysis with the LDO showed the necessity of significant structural changes in the ED72 head structure (Fig. 2b). All the reinforcements were aimed at limiting the deformation of the head structure, so that during the collision do not disturb the survival space around the driver.

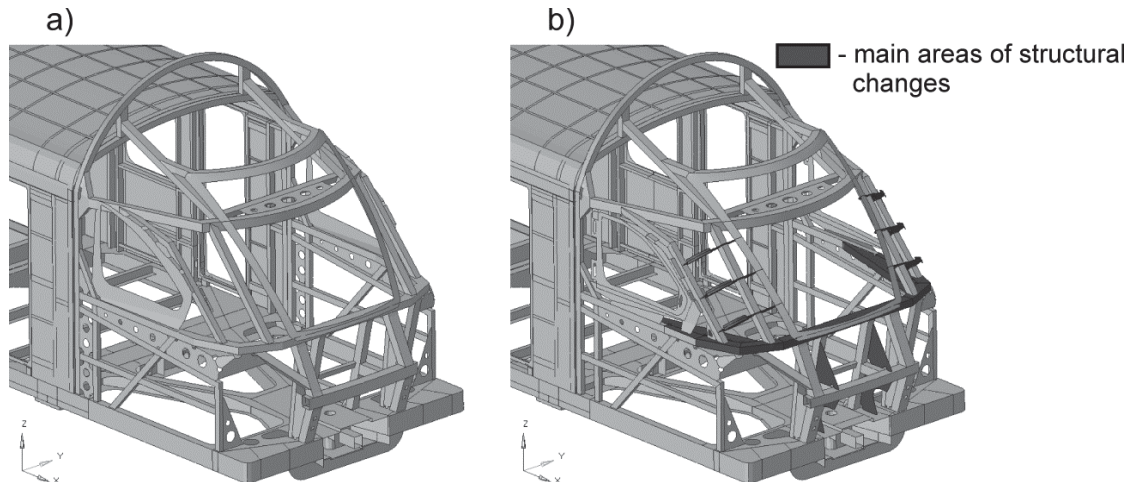


Fig. 2. The modernized ED72 head structure: a) after static and fatigue strength calculations; b) main additional changes after crash test with LDO

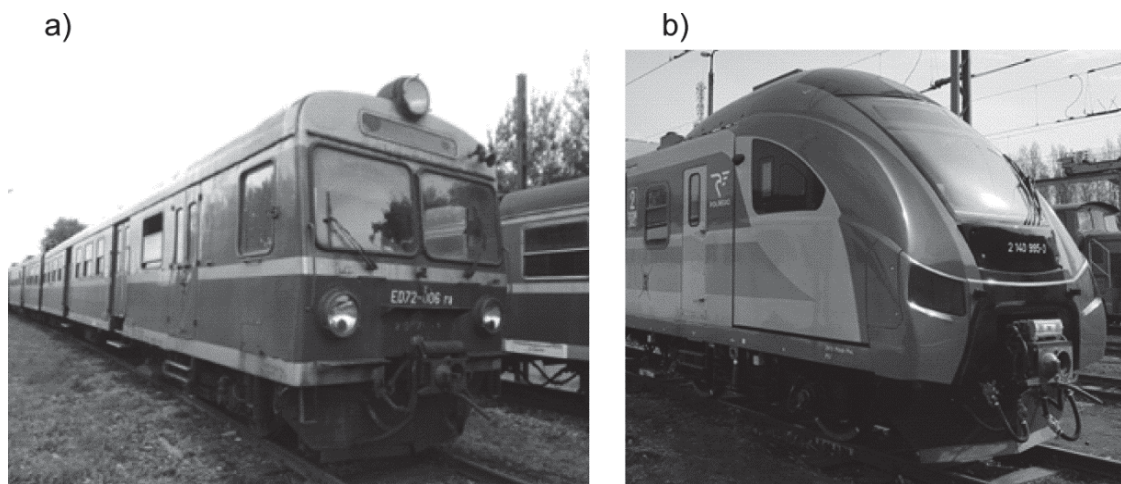


Fig. 3. The ED72 electrical train unit: a) before head structure modernization; b) after head structure modernization [5]

References:

1. Terczyński P., Elektryczne zespoły trakcyjne w Polsce – stan obecny i bliska perspektywa, Technika Transportu Szynowego, 5-6 (2010), p. 13–20.
2. Terczyński P., Elektryczny zespół trakcyjny serii ED72, Świat kolei, 8 (2001), p. 37.
3. PN-EN 15227:2008. Kolejnictwo – Wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych.
4. Spirk S., Kemka V., Kepka M., Malkovsky Z., Design of a large deformable obstacle for railway crash simulations according to the applicable standard, Applied and Computational Mechanics, 6 (2012), p. 83–92.
5. Frączek R. et al., Modernization of the head structure of the ED72 electrical train unit, Mechanik, [in Polish, in press].

MAKING IMPROVED COMPOUNDS FROM PRODUCTION SCRAPED MATERIAL AND AGGREGATES OF PLASTIC MATERIAL

Monika Staćel, PhD Eng

Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok

At the stage was made compounds in extrusion process by using twin screw extruder. For this process was used scraped material and aggregates of plastic material from injection production. There was used PA6 and PC/ABS blends. PA6 was process with black masterbatch and nucleation agent. Parameters of the process: barrel temperature 260÷270°C and screw speed 550 rpm. Second blend PC/ABS was made with addition improving laser marking agent. Parameters of the process: barrel temperature 250÷260°C and screw speed 500 rpm.

First PA6 compound with nucleation agent on the base of sodium bicarbonate and derivatives of citric acid. There was tested in three different amounts: 0,5%, 0,75% and 1% weights. This type of additive decreases viscosity of material, increases crystallization speed and improves homogeneity of material what improves filling of mould cavity. Used additives had influence on the mechanical properties in comparison original material. There was observed increase of impact resistance and tensile strength. Taken into consideration aesthetic aspect and injection process parameters there was chosen optimal amount of additive. Positive aspect of trials was: decrease of cycle time by 8%, decrease of weight of final parts was 7%, decrease of process temperature 20 degree (saving of energy at the level 10%).

Second PC/ABS compound with addition improving laser marking agent on the base of mica, iron oxide or antimony oxide. There was produced blends with different amount of additives: 0,5%, 1%, 2%, 3% and 5% weight. There was chosen the most of optimal version when we take into consideration quality and price. Used additive had no influence of mechanical properties of material. Main aim of this additive was improve of quality of laser marking process. In the process of marking was used fiber optic laser marking device designed for marking polymer materials. During the process was set three main parameters: speed, frequency and power marking. By using this additive there was observed improvement of marking dark marking on the bright surfaces. By using this process we can eliminate second tamp printing process, there was decrease process time by 20%, there was eliminated solvent based paints from the process and we observed decrease scab level by 10%, increase resistance of marking.

AN ANALYSIS THE NUMERICAL MODEL OF SLIDING BEARING

Tomczewski L. PhD, Eng.

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

Research results presented in the article constitute a set of numerical research of slide bearing model and comparison of selected characteristics of bearing static calculations carried out according to standard DIN. Slide bearings are one of the tribological systems, which have a significant effect on the correct operation of

machines [1]. There are no commercially available testers for testing slide bearings on which you can explore slide bearings. Therefore, most studies use computer simulations [2,3]. Therefore numerical simulations are confirmed by experimental research or calculations of basic static characteristics of the bearing in order to verify the correctness of the numerical model.

The tested bearing was modeled in ANSYS Design Modeler module. Oil film workspace was isolated from the model. Finite element mesh of slide bearing is shown in Fig. 1.

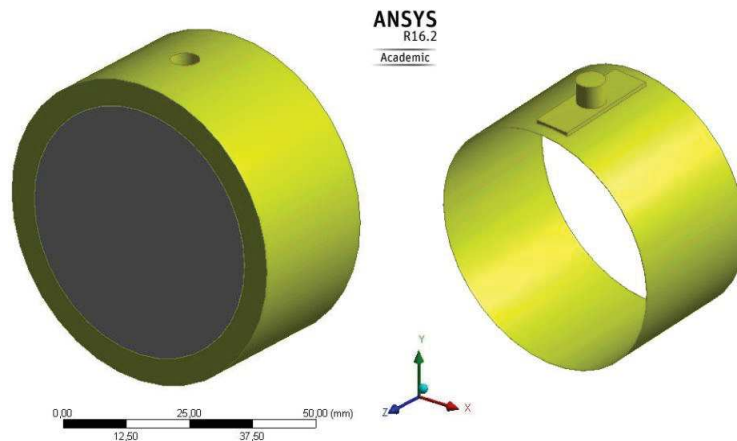


Fig. 1. Finite element mesh of slide bearing

Finite element mesh was prepared in the module ANSYS Mesh. In order to investigate the effect of mesh density of oil film components, there were calculations for various amounts of elements on thickness of the grid.

In order to validate the numerical calculations, calculations of basic parameters of a sliding bearing according to DIN 3165-2 [4] were made. Calculations were performed for a smooth slide bearing. Characteristics that were included in the verification are:

- maximum pressure in the oil film,
- the maximum temperature in the oil film,
- oil flow.

The calculations are made to verify the correctness of the adopted numerical boundary conditions.

References:

1. Lawrowski Z.: *Łożyska ślizgowe historia, stan obecny, perspektywy rozwoju*. Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie. Nr 6, 2007, s. 7-61.
2. Tomczewski L., Sęp J.: *An analysis of the influence of journal's helical groove on the wear and load capacity of the sliding bearing*. Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie. Nr 4, s. 191-200, 2016.
3. Czaban A.: *CFD analysis of hydrodynamic lubrication of slide conical bearing with consideration of the bearing shaft and sleeve surface roughness*. Journal of KONES Powertrain and transport, Vol. 21, No.3, s. 35-40, 2014.
4. DIN 31652-2: *Hydrodynamische Radial-Gleitlager im stationärem Betrieb. Teil 2: Funktionen für die Berechnung von Kreiszyylinderlagern*.

APPLICATION OF NUMERICAL MODELING AND 3D ANALYSIS IN DESIGNING FLEXIBLE PRODUCT

Jan Ziobro. PhD Eng

Technical Institute, Jan Grodek State Vocational Academy in Sanok

The article attempts to approximate the application of CAx software based on a selected mold made of rubber. The full technical preparation process of a given product for production requires taking various aspects at the construction stage. The correct geometric form of the mold product requires the adoption of the most optimal structural solution. This stage is the most responsible and requires a wide range of knowledge and practical skills. It is a complex process, often requires synergistic cooperation of specialists from various fields. That is why it is so difficult to launch a completely new product that will be competitive.

This article presents a practical form of implementation of the design process and numerical simulation by using professional engineering software. First, a geometric base model was adopted to determine the applicability of a given shape to the general material model and operational requirements. Several variants of 3D geometric models have been presented.

Then, the basic hyperelastic mathematical material model was adopted in the simulation program to reduce the gross solution error. In the simulation procedure the method of large deformations and the Newton-Rapson procedure were adopted. Procedures for optimizing the nodes and elements of the adopted discretized structure were also applied. Meshing was carried out using 3D tetrahedron elements with local densities in important places. Then, these models were subjected to 3D numerical analysis in the CAE program using the FEM.

The obtained results of numerous analyzes made it possible to approximate the most real form of deformations or loads. Based on them, the most favorable conditions meeting the basic performance criteria were selected. The further part consisted in the successive selection of appropriate material and dimensional properties of the designed 3D geometric model. Next, the most-advantageous design solution was proposed, which takes into account numerous criteria. The most important criterion was the minimization of production costs and the ease of release of the product from the cavities. Based on numerous numerical 3D modeling and simulation analyzes, a final version was proposed, which may be directed to the production stage. The initial production stage requires the use of a processing tool, which is an injection mold. The process of designing the injection mold goes beyond the scope of this article, so this issue in the smaller article is not discussed. However, at this stage, both moldmaker and product designers must work together to eliminate solution errors. It is important that the designer of the mold products knows the basics of such aspects as injection molding technology, design and operation of injection molds, materials for injection processing and their properties.

The article discusses the problems, identifies the phenomena and presents conclusions for practical application, which may be an indication for the implementation of similar projects.

TIMOK REGION WIND ENERGY POTENTIALS

¹P. Živković, ¹D. Petković, ¹M. Vukić, ¹J. Janevski, ²M. Tomić, ³D. Dimitrijević Jovanović

¹University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering

²University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences

³Innovation Center of Advanced Technologies CNT

Introduction

Energy, especially electrical, is of vital importance in the world today. Many assessments of the fuel resources, mostly fossil, clearly marks the fact that this resources, especially for oil, are close to the end. The need for energy constantly rises, so introduction of new resources is inevitable. All these facts points to the necessity of transition to the sustainable development, especially to the usage of renewable energy sources. Wind energy clearly takes its place, considering its large potentials, purity and availability. The present constrains are mostly of financial nature.

The most important task is the *siting* of wind turbines (obtaining the best possible locations for installing of the turbines, considering the possibility for energy production and minimization of losses). For that purpose, the wind atlas method is developed, which became easy for use with the fast development of computers. Position of wind turbine is in strong correlation with energy production. According to the previous research [4], linear models can't estimate correctly the wind energy potentials in the terrain where the ruggedness index (index that represents the terrain slope value) exceeds 0.3. In such a case, using full CFD models, followed by experimental validation is necessary.

Mathematical model

CFD models are more precise, but they need much more computational time. Considering the need to obtain the results as soon as possible, the best micro models were extracted from the larger macro models using the fast linear software. Than the best wind turbine locations were obtained by using CFD software, either linear as WasP [1], or the full nonlinear WindSim [2].

In this paper combination of a linear (WAsP [1]) and full nonlinear model (WindSim, a module in PHOENICS code [4]) was used.

A. Linear model

Linear model is expressed by the:

continuity equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i) = 0, \quad (1)$$

logarithmic vertical wind profile:

$$U_z = \frac{U_*}{\kappa} \left(\ln \frac{z}{z_0} - \psi \right), \quad (2)$$

Weibull distribution equations:

$$f(U) = \frac{k}{A} \left(\frac{U}{A} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{U}{A} \right)^k \right], \quad (3)$$

$$F(U) = \exp \left[- \left(\frac{U}{A} \right)^k \right], \quad (4)$$

Representative of the linear software packages is WAsP [1], [4]. It calculates the speed-up effects of the hills, taking into consideration the effect of redistribution of energy in the flow from the component in the flow direction into the vertical component.

B. Nonlinear model

Nonlinear model solves the full set of governing equations of steady fluid flow.

continuity equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i) = 0, \quad (5)$$

continuity equation:

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} v_{eff} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i}, \quad (6)$$

turbulence model equations:

$$U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mathbf{v} + \frac{\mathbf{v}_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = P_k - \varepsilon, \quad (7)$$

$$U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mathbf{v} + \frac{\mathbf{v}_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] = \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon), \quad (8)$$

where:

$$P_k = v_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (9)$$

$$\mathbf{v}_{eff} = \mathbf{v} + \mathbf{v}_T \quad (10)$$

$$\mathbf{v}_T = C_\mu k^2 / \varepsilon \quad (11)$$

The modified set of model coefficients is:

$$C_\mu = 0.0324, \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.85$$

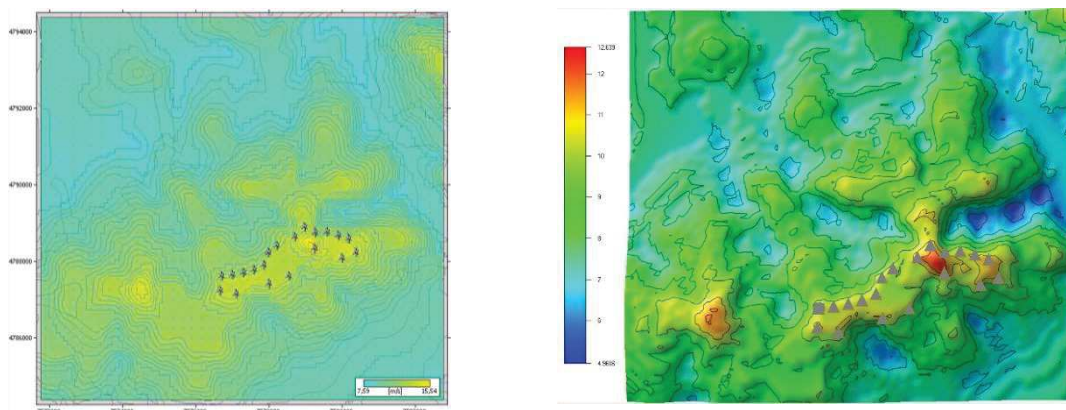
The set of these nonlinear partial differential equations is solved by WindSim [2] software package.

Combined methodology

The differences in wind energy estimations while using these different approaches are considerable. Many investigations were done on this subject, dealing with different aspects of the software operation.

Test model of Selicevica mountain [3] was chosen by its adequate orography, as can be seen in Figure 1. It was shown that the WAsP predictions are about 30% larger than WindSim ones, due to neglecting of the second-order terms in the momentum equation.

For obtaining of the results the nesting technique is used. Simulations were done for the Enercon E82 wind turbine. It is very appropriate to use WAsP as the initial software on mezzo level estimations, and WindSim for more precise micro level estimations, as the computational time for WAsP is about 20 times less than for WindSim.



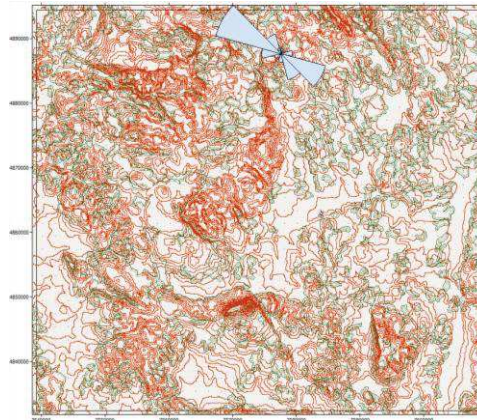
Pic.1. Mean wind speed fields obtained by simulations in WAsP (left) and WindSim (right)

Rtanj and Tupižnica wind potentials

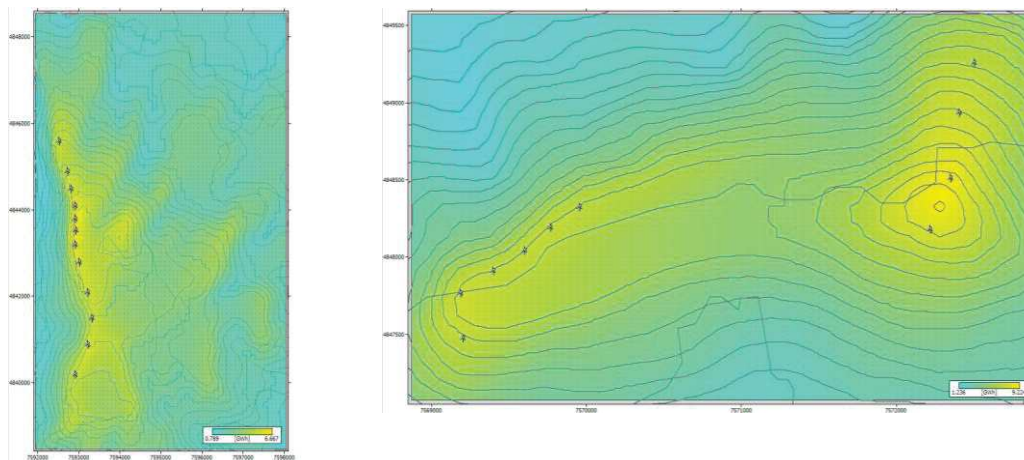
Scope of this paper is Central Timok region. The Rtanj and Tupižnica mountains, as the most prominent in this region, are situated in the Eastern Serbia, between the towns of Knjaževac, Sokobanja and Boljevac. This is southeastern border of the Velika Morava river valley, but it stretches to the Timok valley, so the winds are similar to the ones for Balkan mountain, which is about 25km to the east. Such configuration of the terrain creates somewhat channel flow, which is obvious in the one dominant wind direction, of very stable winds. The plan of developing the ski center Babin Zub, and the relatively less developed electrical network in the surrounding settlements, makes this location even more desirable.

The potentials are estimated for turbine Enercon E-82, with unit power of 2MW. Considered mezzo models were chosen by former simulation on the bigger model, from which, using the nesting technique, named micro models are obtained.

For the turbine siting the method of wake loss minimization and maximal annual energy production was used. Also, the recommendations about distance between wind turbines for the siting were as follows: in the wind direction minimally 7D (D – rotor diameter) and in the normal direction 4D. The same locations were used for all three turbine types.



Pic.2. Rtanj and Tupižnica map with wind rose



Pic. 3. Rtanj (left) and Tupižnica (right) AEP fields

On the basis of the data about the terrain slopes and roughnesses, obtained from the digital map, and the data about the wind speed and direction represented with the long term wind rose on the site of the main meteorological station Crni Vrh, the simulations were performed in both software packages: WASP and WindSim. The result shown in the Table 1 are the fields of possible energy production and terrain slopes.

Table 1. Summarized results for all wind farms

Location	AEP [GWh]	Turbine N ^o	capacity factor [%]
Rtanj	51.2247	12	29.24
Tupižnica	25.116965	10	23.89

Economical analysis

Economical analysis is one of the most important parts of every project. Renewable energy, including wind energy, is not an exception. Having in mind current prices of wind turbines, state of the global and local financial markets, and the fact that the local infrastructure is not very developed, preliminary financial analysis was done. The estimated financial indicators (Rate of income ROI, Simple payback time SPB, Net present value NPV, Internal rentability rate IRR, Dynamic payback time DPB, Benefit/cost ratio B/C and Lifelong cost savings LCS) are shown in the following Table 2.

Using above mentioned financial indicators, it was calculated that annual income of the wind farms could be about 1.89 milion EUR for Rtanj and 2.55 milion EUR for Tupižnica site, annually.

Conclusions

The Timok region around Rtanj and Tupižnica mountains is scarcely populated area, and as such is in great need of investment. Wind resources are very desirable, as well as relatively easy reachable. Nearness of the Danube river shows possibility for relatively easy transport of the turbines almost to the site by water.

Dissadvantage is that this area is prone to frosting, so the blades should be heated in winter, which reduces the amount of energy produced, and increases the costs.

Table 2. Financial indicators

FINANCIAL INDICATORS			
Site	Rtanj	Tupižnica	
ROI	3.64	2.73	[%]
SPB	17.87	11.27	[yr]
NPV	73.51	59.76	[mil€]
IRR	0.00	0.00	[%]
DPB	0.00	0.00	[yr]
B/C	88.14	78.51	[-]
LCS	4.13	6.584	[mil€/yr]

Acknowledgments

This paper is concerned by the National Program of Energy Efficiency, project number: TR33036, funded by the Government of Republic of Serbia.

References:

1. WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), [Wind Energy Department at Risø National Laboratory](#), Denmark
2. WindSim - Delft University, Denmark, available as module of PHOENICS software package
3. P. Živković, *Wind energy estimations in terrain with complex orography - comparative methodology analysis*, master thesis, Faculty of Mechanical engineering, Niš, 2006
4. P. Živković, G. Ilić, Ž. Stevanović, *Wind Power Assessment in Complex Terrains of Serbia*, Proceedings of the 21st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Cracow-Gliwice, Poland, June 24-27, 2008, pp 1141-1148, ISBN 978-83-922381-4-0.
5. P. Živković, M. Tomić, D. Dimitrijević, I. Kecman, M. Dobrnjac, *Influence of the changing local climate on wind potentials of mount Kopaonik*, Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering, (2017), Vol. 15, No. 3, pp. 507-516.

THE USE COMBINED TECHNOLOGIES TO STRENGTHEN SURFACES

¹Zhiguts Yu.Yu., *D.Sc. in Technical Science, Prof.*, ²Kopei V.B., *PhD in Technical Science, Docent*

¹*Uzhgorod National University*

²*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

Introduction. The laser surface hardening (*LSH*) of metals was discovered in 1965. It has won strong positions in technology of metals [1]. Nowadays in the whole world hundreds of patents have been awarded to branch inventions including those dealing with combination of *LSH* with *SHS* (self-propagating high-temperature synthesis). One of them is dedicated to combining of *LSH* (Laser Surface Hardening) with *SHS* (self-propagating high-temperature synthesis) [2-4]. Formerly *SHS* was combined with other technologies of surface hardening of components [5-9].

Theoretical and experimental research. The impotent problem within the *LSH* is the decreasing of the losses of beam energy because of its reflection by the surface of metal under machining. In the given investigation, as well as in the invention [1,2], the mixture of powders *Ti* (65%), carbon in black state (18%) and *Fe* (14% by mass) were used in the role of light-absorbing paint. The mixture was damped by solution of 2 % latex in gasoline, and then it was put on the surface of stalls of mark 10 and 20 and was dried in an open air, forming the layer 80, 200 or 500 mkm thick. Thermochemical calculations showed that in such a mixture practically all *Ti* interacts, thanks to non-oxygen combustion, with carbon, forming the carbide *TiC*. The seer plus of carbon and very small account of *Ti* alloy the iron forming liquid steel of condition, which under fast cooling turns into troostite in layers of 80 mkm thick.

The adiabatic temperature of non-oxygen combustion of equiatomic mixture *Ti-C* equals to 3200 *K*. The real temperature of combustion of selected mixture 68% (% in mass particles) is more than 1850 *K* that provides the formation of hard-liquid dross (*TiC*-melding) with the large interval liquids solid us. The formation of dross instead of one-phase alloy influences positively on the quality of surface of hardened layer after its full growing hard and cooling as well as on supporting of this layer even on inclined planes.

It is important to note that in the mentioned non oxygen combustion none of nonmetallic phase and its including is formed. Welding of hardened layer with basic metal is obtained automatically „metallurgic ally”, excluding the necessity of soldering or other methods of connecting one alloy (e.g. instrumental) with other (e.g. with the basis of cutting tool).

In typical microstructure of metal in cross-cut of harded layer got under density og power 17 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, diameter of „spot” – 0,4 mm, the speed of scanning 12 min/s and expense of argon (for the defense of *Ti* from air oxidation) – 0,5 l/s is shown. The thickness of alloy is ~500 mkm. This layer consists of ~50% particles *TiC* and ~50%(by volume) of metal link-instrumental carbon steel of type “Y8”.

The investigations made have proved that the microhardness of carbides *TiC* is higher than the hardness of steel almost 10 times. Thus, in the given work we managed to organize the *SHS* process in comparatively thin layer thanks to using of

LSH technology simultaneously for solving of two tasks: for heating, flashing and carbonating of an iron; for flashing *Ti* particles and its „combustion” in carbon with forming of carbides *TiC*.

The substitution of a part of iron powder by the powder of carbon ferrochrome (e.g. 12%*Fe*+2%*FeCr* instead of 14%*Fe* in the formulae of SHS mixture) allows to get layers of carbidosteel with the link not in the shape of steel “Y8” but from alloyed steel “X12” which after fast cooling of these layers thanks to accelerated drain of heat to cold metal of the basis gets austenite-martensite-carbide structure. In the process of work of the instrument such metal link additionally grows hard thanks to pre-transforming of austenite into martensite and getting older of the later one. The hard of such a carbidosteel reaches *HV*1400 (14000MPa).

The substitution of a part of iron in the *SHS*-mixture by ferrochrome increases greatly corrosion resistance of carbidosteel and decreases its oxidizing wear in the process of its exploitation. The substitution of carbon in *SHS*-mixtures by the powder is also long-range. The same effect is obtained also with the substitution in another field of hot machining of metals namely the using of *SHS*-reactions for inmoulding process (modification within of the form) in casting manufacturing.

The substitution of carbon in *SHS*-mixtures by the powder of boron is also perspective. In such a case it is possible to reach the liquidus-solidus interval to 1500 *K*, that in other technologies it is practically impossible to meet. Thus, while the above mentioned method on the one hand high refractory diborides *TiB₂* and *CrB₂* (with high hardness) are formed and, on the other hand, very easily melted complex eutectics are formed.

Conclusions.

1. Combination of *LSH* and *SHS* in one operation allows to solve the whole complex of technical problems connected with producing of materials with high hardness like carbidosteels and hard alloys on metal surface.

2. Evolution of inner chemical heat in *SHS*-mixtures allows to decrease the power of laser radiation. 3. New complex technological process allows to build up wearied surfaces of parts of machines and devices to the high of 0,5 mm.

References:

1. Zhiguts Yu. Yu., Antalovskyy V. V., Hom’ak B. Ya. The possibility of synthesis of hard alloys // Prospects of world science: 12 international scientific and practical konf., 30 july – 07 august 2016.: V. 3. materials conf. – Sheffield UK: “Science and Education” LTD, 2016. – V. 22. – S. 56 - 59.

2. Zhiguts Yu., Beiresh Ya. The alloyed cast irons synthesized by metallothermic processes // Conduct of modern science: 13 international research and practical konf.: 30 November - 07 December 2017 y.: materials conf. Technical science. – Sheffield UK: “Science and Education” LTD, 2017. – V. 13. – S. 14 - 16.

3. Zhiguts Yu.Yu., Opathko I.I. Synthesis of materials with forecasting properties and structure as a result of the interaction of a laser flame. International periodic scientific journal : Modern engineering and innovative technologies, 2018. – № 5. – Part 2. Published Karlsruhe, Germany. – P. 81 - 85.

КОЛИВАННЯ КОНСОЛЬНИХ БОРШТАНГ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

Альбакуш Аймен, *аспірант*

Одеський національний політехнічний університет

Коливання консольних борштанг з діаметрами менше 16 мм мають деякі відмінності від коливання борштанг з великими діаметрами. Амплітуди переміщень вершини різця при згинальних коливаннях борштанги приблизно на порядок більше, ніж при крутильних, причому відношення цих амплітуд зростає разом зі збільшенням діаметра борштанги. Встановлено, що швидкість різання і подача, змінювані в межах звичайного застосування при тонкому розточуванні, впливають на рівень коливань в меншій мірі, ніж довжина борштанги і глибина різання.

Експериментальне дослідження коливань виконувалося при розточуванні зразків зі сталі 45 і чавуну (НВ 180), що встановлюються в жорсткому пристосуванні.

Якісний опис результатів дослідження згинальних коливань борштанг зводиться до того, що при наближенні до границі стійкості розвиваються вузькосмугові коливання з наростаючими середніми значеннями і варіаціями амплітуд, а при подальшому збільшенні довжини борштанги спостерігаються розвинені коливання високої інтенсивності.

При тонкому розточуванні сталевих зразків граничне значення податливості лежить в межах від 0,1 до 0,15 мкм / Н, а при розточуванні чавуну – від 0,2 до 0,25 мкм / Н, дещо зменшуючись зі збільшенням діаметра.

На рисунку 1 показані розрахункові граничні значення податливості для сталі при $t=0,2$ мм. Ці значення отримані з умови сталості динамічної системи пружно-дисипативної інерційної системи $(1+q)\gamma < \gamma_0$, де q коефіцієнт перекриття, γ_0 - запас стійкості, а коефіцієнт пов'язаності визначено для випадку різання округленої вершинної частиною різця:

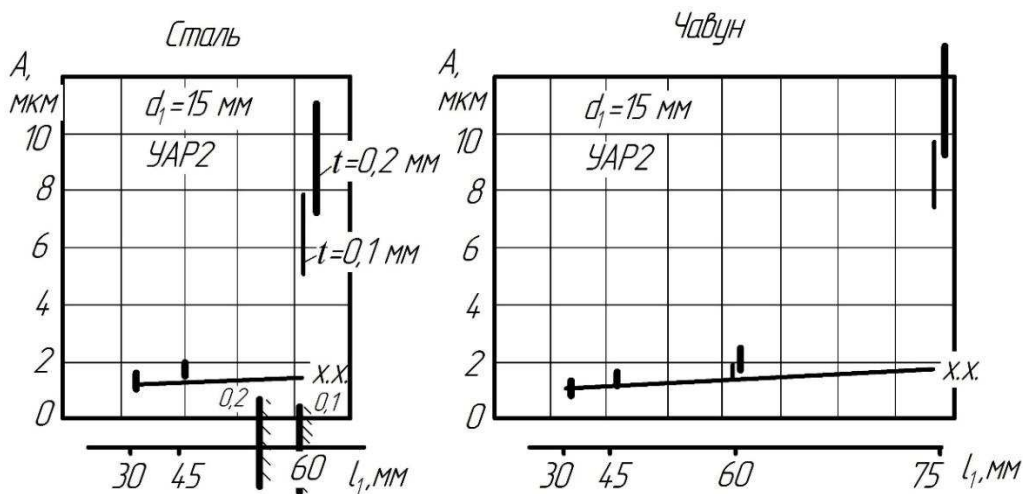


Рис.1. Залежність амплітуд коливань при холостому ході і при розточуванні від довжини консольної борштанги

$$\gamma = kK \left\{ [(2r - t)t]^{1/2} + s/2 \right\}.$$

Приймаючи $T_p = 0,2$ мс і $K = 1,1$ ГПа, отримуємо значення величин, що входять в умову стійкості (таблиця 1). За цими даними знаходимо розрахункове граничне значення піддатливості k_{sp} .

Таблиця 1. Дані розрахунку сталості при розточуванні сталі 45

борштанга			γ_0	$(1 + q)\gamma$		
d_1	l_1	k		при $t =$		
мм	мм	мкм / Н		0,05	0,1	0,2
12	30	0,06	0,12	0,022	0,029	0,037
	45	0,10	0,11	0,036	0,049	0,062
	60	0,21	0,098	0,077	0,10	0,13
	75	0,39	0,077	0,14	0,19	0,24
15	50	0,07	0,12	0,026	0,035	0,044
	75	0,13	0,10	0,048	0,064	0,081
	100	0,20	0,093	0,073	0,099	0,12
	125	0,32	0,086	0,12	0,16	0,20
	150	0,49	0,071	0,18	0,24	0,30

Встановлено, що вплив крутильних коливань на згині проявляються при значеннях діаметра борштанги менше 16 мм.

Відносно малі відмінності граничних значень податливості при зміні вдвічі глибини різання, що спостерігаються в експерименті і підтверджуються розрахунком, є наслідком характеру залежності коефіцієнта пов'язаності від t при тонкому точінні різцем з округленою вершиною. Статичний розрахунок не дозволяє повністю оцінити коливання, що виникають при різанні, але при заданих умовах тонкого розточування на оздобно-розточувальних верстатах можна при проектуванні верстатів використовувати податливість як критеріальну характеристику вібросталості.

Література:

1. Оргиян А.А. Особенности колебаний борштанг для тонкого растачивания. / Оргиян А.А., Баланюк А.В. // "Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 9 – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – 323 с. – стр. 111 – 124.

2. Оргиян А.А. Анализ взаимодействия изгибных и крутильных колебаний при тонком растачивании / А.А. Оргиян, А.В. Баланюк, И.М. Творищук // Матеріали XVI МНТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», С 231-233, 2015 – 285 м. Одеса, 22 – 25 червня 2015 р.

3. Копелев Ю.Ф., Оргиян А.А., Кобелев В.М. Параметрические колебания металлорежущих станков. / Под общей редакцией Копелева Ю.Ф. – Одесса: Печатный дом, ОНПУ, 2007. – 352 с. ISBN 978-966-389-103-3

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ЙОННОГО АЗОТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ІНСТРУМЕНТУ

¹Антонюк В.С., *д.т.н., професор*, ²Рутковський А. В., *к.т.н., с.н.с.*

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка Національної академії наук України

Модернізація і подальший розвиток технологічного парку обладнання для зміцнюючих захисних покриттів в машинобудівній галузі є одним із ключових завдань. Галузь має гостру потребу в захисних покриттях, зміцнюючих деталях машин, різальних і формуючих інструменти, а також технологічне оснащення.

Головне завдання реконструкції технологічного парку покриттів полягає в переході на нові, наукомісткі енергозберігаючі (ресурсозберігаючі) технологічні процеси формування зміцнюючих захисних покриттів, так звані радикальні технологічні процеси інноваційного характеру, які якісно відрізняються від таких, що вичерпали себе, тупикових технологій [1].

Аналіз показує, що широке використання у виробництві безперспективних, так званих тупикових технологій формування покриттів на поверхню виробу (наприклад, цементация з загартуванням, гальваніка тощо) пов'язано з безперервним зниженням їх наукоємності та рівнем рентабельності, високій енергозатратності і трудомісткості, та іншими економічними і екологічними показниками.

Метою роботи є створення нової енергозберігаючої технології хіміко-термічного зміцнення деталей машин та інструментів на основі наукових розробок інституту проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України стосовно до вакуумного йонного азотування.

Розроблена технологія термоциклічного йонного азотування відрізняється тим, що нагрівання зміцнюючих деталей здійснюється тільки поверхневим підведенням енергії тліючого розряду [2].

Обробка проводиться у вакуумній камері при відсутності конвективних втрат тепла шляхом циклічної подачі енергії тліючого розряду.

У розрідженій вакуумній газовій середовищі, що складається з азоту і аргону, між катодом (деталь) і анодом (стінка вакуумної камери) збуджується циклічний тліючий розряд керованої потужності.

При цьому позитивні йони газу з високою енергією бомбардують поверхню деталі, нагрівають її до температури насичення і дифундують в поверхню, формуючи в ній твердий розчин азоту в металі, а при досягненні межі розчинності – нітридні фази (та звану плазмово-хімічну реакцію).

Контролюються параметри: максимальна і мінімальна температура поверхні деталі, а також робочий тиск у камері.

Обробка проводиться в суміші Ar і N_2 , сталеві деталі зміцнюють при циклічній зміні температури $500^{\circ}C \pm 550$. Напруга при тліючому розряді 400...600В.

Наприклад, для сталі 12Х18Н9Т температура азотування 470...580°C, тиск (1,33...13) ·10²Па, робоча пульсуюча напруга коливається від 400 до 1000 В, з тривалістю імпульсу 10-20 мс та величиною періоду подавання імпульсів 40 мс, при цьому циклічно змінюють температуру процесу вище або нижче температури евтектоїдного перетворення. Термін азотування – $t = 50 \div 360$ хв, при цьому повністю виключається перегрів деталі.

Таким чином, зміцнююче захисне покриття фактично являє собою модифікований (легований) поверхневий шар матеріалу деталі, який отримують шляхом адресного підведення енергії масообміну.

Нова технологія використовує ефекти і явища на стику металофізики, теплофізики та термомеханіки. Термомеханіка з позицій теорії термічної втоми забезпечує поле термічних напружень в поверхневому шарі деталі, які прискорюють дифузійні процеси, а ефект аномального масопереносу відбувається при дії імпульсів пружною деформації.

Для прискорення нагрівання використовують відкритий ефект дискретного енерговведення шляхом подачі пульсуючого струму.

Регулювання швидкості нагріву в кожному термічному циклі дозволяє управляти рівнем термічних напружень в поверхневому шарі деталі, прискорюючи цим процеси дифузії.

Термоциклічний режим йонного азотування збільшує глибину дифузійного шару більш, ніж в 3 рази та підвищує твердість поверхні на 25%.

Для реалізації методу йонно-плазмового термоциклічного азотування в Інституті проблем міцності ім. Г.С Писаренко НАН України створено принципово нове устаткування [3] – універсальна установка «ВПА-1» призначена для модифікації поверхні конструкційних, нержавіючих та інструментальних сталей (Рис.1.).



Рис.1. Загальний вигляд установки «ВПА-1»

Промислова установка виконана в двокамерному варіанті з одним блоком електроживлення. Габарити камер дозволяють зміцнювати деталі до Ø500 мм і довжиною до 1600 мм.

Термоциклічне йонне азотування підвищує твердість, зносостійкість, корозійну стійкість та границю витривалості і при цьому не відбувається змін розмірів і форми деталі, а також відпадає необхідність в фінішній механічній обробці.

При цьому знижується енергоспоживання за рахунок скорочення тривалості процесу і відмови від пічного нагріву.

Висновки. Запропонована нова технологія термоциклічного йонного азотування в безводневих середовищах підвищує твердість, зносостійкість, корозійну стійкість та границю витривалості деталей, а також дозволяє замінити класичну цементацію замість гартування.

При цьому виключається негативний вплив водню на серцевину деталі, відсутні деформаційні викривлення деталей та зміну її геометричних розмірів, а також відпадає необхідність їх фінішної механічної обробки.

Література:

1. Ляшенко Б.А. Рекомендации по реконструкции технологического парка Украины для нанесения упрочняющих защитных покрытий. / Б.А. Ляшенко, В.А. Илюшин, С.А. Клименко, Е.К. Соловых // Инструментальный світ. – 2007, № 3. – С.12-15.

2. Ляшенко Б.А. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковський, А. Ю. Кумуржі, В.С. Антонюк, Д.О. Качинський, В.С. Томащук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Вип №3(74) – 2015 - С. 28 – 33.

3. Патент № 29008 Україна МПК С23 С 4/10 Вакуумна камера для вакуумного плазмового азотування металевих деталей // Рутковський А.В., Ляшенко Б.А., Калініченко В.І., опубл. 25.12.207 бюл. № 21.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ І НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Архипова Л. М., д.т.н., професор

Івано-Франківській національній технічній університет нафти і газу

Сталий розвиток в контексті розвитку людства розуміється наступним чином: «...Людство здатне надати розвиткові сталого та тривалого характеру з тим, щоб він задовольняв потреби сучасності, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби» [1]. Поняття сталого розвитку за останні двадцять років торкнулося всіх сфер життєдіяльності людства, в тому числі й інженерної освіти та наукових досліджень.

Концепція екологічної грамотності наукових працівників й освітян як елемент концепції гармонійного конкурентоспроможного розвитку держави набуває сьогодні ваги актуального і важливого державного документа. Культура

розглядається сьогодні як потужне внутрішнє джерело забезпечення конкурентоспроможності підприємств і в ієрархічному ряді конкурентних переваг займає чільне місце поряд з такими чинниками, як: знання, ефективна співпраця, володіння інформацією, психологічна стійкість [2]. У ХХІ столітті екологічна грамотність, екологізація мислення наукових працівників й освітян стає важливим чинником поширення ідей сталого розвитку серед широких верств населення, а, отже, забезпечення конкурентоспроможності індустрії України на світовому ринку.

Концептуально державна політика в галузі екологічної грамотності наукових працівників й освітян повинна базуватися на таких принципах [3]:

- фахово високий рівень системи екологічної освіти наукових працівників і виховання студентів з метою подальшого його розповсюдження на всі верстви населення з урахуванням індивідуальних інтересів, стимулів та особливостей соціальних, територіальних груп та професійних категорій;

- комплексності екологічної освіти і виховання;

- неперервності процесу екологічного навчання в системі освіти, особливо інженерної, в тому числі підвищення кваліфікації та перепідготовки.

Основною метою екологічної освіти є формування екологічної культури окремих осіб і суспільства в цілому, формування навичок, фундаментальних екологічних знань, екологічного мислення і свідомості, що ґрунтуються на ставленні до природи як універсальної, унікальної цінності. Екологічна освіта виконує інтегративну роль у всій системі освіти. Ця мета досягається поетапно шляхом вирішення освітніх і виховних завдань та вдосконалення практичної діяльності майбутніх фахівців й наукових працівників.

Екологічна освіта в розглядаємому аспекті - це сукупність наступних компонентів: екологічні знання – екологічне мислення – екологічний світогляд – екологічна етика – екологічна культура. Кожному компоненту відповідає певний рівень (ступінь) екологічної зрілості: від елементарних екологічних знань, уявлень шкільного рівня до їх глибокого усвідомлення і практичної реалізації на вищих рівнях. Умовно можна виділити наступні узагальнені рівні екологічної зрілості: початковий (інформативно-підготовчий), основний (базово-світоглядний), вищий, профільно-фаховий (світоглядно-зрілий) [3].

Вирішення питань розвитку особистої відповідальності за стан довкілля на місцевому, регіональному, національному і глобальному рівнях, вміння прогнозувати особисту діяльність і діяльність інших людей та колективів; питань розвитку умінь приймати відповідальні рішення щодо проблем навколишнього середовища, оволодіння нормами екологічно грамотної поведінки; виховання глибокої поваги до власного здоров'я та вироблення навичок його збереження має забезпечити формування цілісного екологічного знання й мислення, необхідних для прийняття екологічно-обґрунтованих народногосподарських рішень. Для цього насамперед потрібна зміна свідомості.

Екологічна свідомість — це сукупність уявлень (як індивідуальних, так і групових) про взаємозв'язки у системі «людина — природа» і в самій природі, існуючого ставлення до природи, а також відповідних стратегій і технологій взаємодії з нею.

Сьогодні загально визнано, що чим більше екологічно усвідомлені й

обґрунтовані управлінські рішення на всіх рівнях (локальному, регіональному, національному, міжнародному), тим ближче ми до сталого, еколого-соціально-економічно збалансованого розвитку [4].

Вирішити проблему екологічного виховання значно складніше, ніж удосконалити систему екологічної освіти. Якщо екологічна освіта людини визначається сукупністю її знань про особливості взаємодії суспільства з природою, то екологічне виховання має набагато складніший зміст. Воно, крім екологічних знань, охоплює широкий спектр найрізноманітніших людських якостей і характеристик, певний світогляд і світосприйняття, моральні, правові, екологічні, соціальні принципи та норми. Тому воно не мислиться окремо від естетичної, моральної, правової освіти та виховання [3].

Результатом екологічної освіти та виховання є формування екологічної особистості, якій притаманний ексцентричний тип екологічної свідомості. Суспільна екологічна свідомість на сьогодні знаходиться на стадії формування і включає сукупність ідей, теорій, поглядів, мотивацій, що відбивають екологічну сторону суспільного буття, як от: реальну практику відносин між людиною і середовищем її життя, між суспільством і природою, включаючи комплекс регулятивних принципів і норм поведінки, що спрямовані на досягнення оптимального стану системи «суспільство-природа». Наявність певних знань, уявлень ще не гарантує відповідну поведінку. Екологічна поведінка неможлива без екологічної культури та екологічної відповідальності населення.

Запобігти глобальній екологічній катастрофі можна лише за умови тотальної конверсії екологічної свідомості людей за суттєвого підвищення екологічної культури населення та формування певної “критичної маси” людей, вихованих на ідеях екологічної філософії життя і здатних піти шляхом екологізації усіх сфер своєї діяльності.

Визначено основні принципи і провідні напрями просвітництва в галузі сталого розвитку:

1) розглядати навколишнє середовище в усій його повноті – природне і створене людиною, технологічне і соціально-екологічне, політичне, культурно-історичне, моральне, естетичне;

2) екологічна освіта має бути постійним процесом, тобто починатися від народження і тривати на всіх стадіях формальної і неформальної освіти;

3) бути міждисциплінарною за своєю суттю, включати спеціальний зміст у кожний навчальний предмет, створюючи можливість формування цілісної збалансованої перспективи;

4) вивчати головні проблеми навколишнього середовища з урахуванням місцевих, національних, регіональних і міжнародних точок зору; зосередитися на поточних і можливих ситуаціях навколишнього середовища, одночасно беручи до уваги історичну перспективу;

5) роз’яснювати значення та необхідність місцевого, національного і міжнародного співробітництва у вирішенні проблем довкілля і запобіганні їм; докладно висвітлювати різні аспекти навколишнього середовища у процесі соціально-економічного планування і розвитку;

6) використовувати можливості для фахівців застосовувати свої знання і

досвід у плануванні, прийнятті рішень і визначенні їх наслідків; надавати особливого значення розвитку критичного мислення і набуття навичок вирішення проблем, що з'являються;

7) використовувати широкий набір методичних прийомів для навчання, засвоєння знань про довкілля і вивченню досвіду з перших рук.

До специфічних принципів екологічної грамотності наукових працівників й освітян належать: єдності пізнання, принцип прогностичності; взаємозв'язку глобального, національного і локального рівнів екологічних проблем; міждисциплінарності. Для реалізації концепції екологічної грамотності в Україні на сучасному етапі потрібно вирішити наступні завдання:

- 1) удосконалення законодавчих основ екологічної грамотності фахівців;
- 2) розробка науково-обґрунтованої державної стратегії розвитку екологічної освіти наукових працівників й освітян і програми її реалізації;
- 3) вжиття організаційних заходів, спрямованих на створення ефективної інфраструктури екологічної освіти у сфері науки і інженерної освіти;
- 4) відпрацювання механізмів взаємодії і координації діяльності всіх складових науки і освіти за принципом постійного вдосконалення;
- 5) еколого-інформаційне забезпечення системи науки і освіти;
- 6) державна і громадська підтримка поширення екологічної інформації.

Література:

1. Програма дій «Порядок денний на XXI століття» / Переклад з англійської: ВГО «Україна. Порядок денний па XXI століття». - К.: Інтелсфера, 2000. - 360 с.
2. Маслова Н.В. Ноосферное образование. Монография /Н.В.Маслова/-М: Инст. Холодинамики, 2002.
3. Архипова Л.М. Екологічна грамотність працівників туристичної індустрії як важливий чинник забезпечення конкурентоспроможності // «Економіка. Управління. Інновації. Серія: економічні науки. Випуск №1(11), 2014
4. Al Gore. Earth in the Balance, Houghton Mifflin, New York, 1992; p.269.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ГНУЧКОГО ТЯГОВОГО ОРГАНУ З КІНЕМАТИЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

¹Бельмас І.В., *д.т.н., професор*, ²Колосов Д.Л., *д.т.н., доцент*, ¹Білоус О.І., *к.т.н., доцент*, ¹Бобильова І.Т. *асистент*

¹Дніпровський державний технічний університет,

²Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Машини та механізми – об'єкти механічної інженерії в своєму складі мають передачі. Серед передач є пасові та ланцюгові. Ланцюгова передача забезпечує кінематичний зв'язок при передачі руху від одного валу до іншого зірочками. Її тяговий орган дискретно гнучкий. Його деформації в процесі експлуатації незначні. Пасова передача має неперервний гнучкий тяговий

орган, значні деформації в процесі роботи та не забезпечує кінематичний зв'язок поміж валами через ковзання паса по поверхнях шківів.

Усунути ковзання паса по шківвах можливо шляхом застосування виступів на пасах та канавок на шківвах (зірочках). При цьому їх радіус має змінюватися у разі зміни подовження паса. Нами розроблена конструкція такої зірочки [1]. Вона дозволяє створити передачу з перевагою ланцюгової – наявність кінематичного зв'язку обертання валів, та не матиме такого недоліку ланцюгової як її складність, відповідно чутливість до механічного зносу елементів передачі. Впровадження запропонованої передачі – актуальна задача. Вона вимагає розробки конструкції та алгоритму розрахунку гнучкого паса.

Для передачі значних зусиль гнучким тяговим органом доцільно зробити його композитним – з еластичного матеріалу, армованого тросами та кільцевим. З метою надання такому матеріалу максимально можливих механічних характеристик металевий корд в ньому має бути укладений з мінімальними відхиленнями від рівномірного розташування. Таким умовам, на нашу думку, відповідає пас кільцевої форми, армований тросом, укладеним за спіраллю.

Прийmemo наступну фізичну модель безкінцевого тягового органу. Система гнучких, лінійно пружних, розташованих зі сталим кроком в паралельних площинах кругових не замкнених тросів. Перерізи розриву кілець розташовані в одній радіальній площині. Два кінці кожного не замкненого, не крайнього кільця з'єднані з кінцями двох суміжних кілець. Кожен кінець кільця з'єднано лише з одним суміжним кільцем. Зв'язки кінців кілець забезпечують рівність переміщень та рівність сил, що діють в кільцях. Матеріал еластичної оболонки, розташований поміж не замкненими кільцями, сприймає напруження зсуву. Напруження в ньому лінійно залежать від деформації. Віднесемо модель пасу до кутової системи координат. Початок осі розташуємо в перерізі розриву кілець троса паса. Виразимо кутову координату через лінійну.

Будемо вважати, що пас має N тросів. Площиною, нормальною до пасу, розріжемо його в перерізі, протилежному перерізу закінчення (початку) тросу. Сумістимо його з площиною. Отримаємо відрізок пасу, армованого системою паралельних прямолінійних тросів. Його довжину позначено $2l$. Закономірність переміщень тросів прийmemo, як запропоновано в роботі [2].

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \cos(\mu_m (i - 0.5)), \quad (1)$$

де $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$; $\beta_m = \sqrt{2 G d k_G \left(1 - \cos\left(\frac{\pi m}{M}\right)\right) (h E F)^{-1}}$; A_m, B_m - невідомі вектори сталих; $i = 1, 2, \dots, M$; u, p – переміщення перерізу та навантаження витка троса вздовж осі x ; k_G , – коефіцієнт, що враховує вплив форми матеріалу еластичної оболонки поміж витками на жорсткість еластичної оболонки на зсув; d – діаметр троса; G – модуль зсуву матеріалу еластичної оболонки; h – відстані поміж елементами армування; E – приведений модуль пружності тросу на розтяг; F – площа поперечного перерізу тросу; P - сила розтягу гілки паса.

Сформулюємо умову нерозривності деформацій кінців розрахункового зразка. Вони полягають в тому, що переміщення та внутрішня сила розтягу тросів рівні поміж собою в перерізі початку троса.

$$u_i(x=l) = u_{i+1}(x=-l), \quad (2)$$

$$p_i(x=l) = p_{i+1}(x=-l). \quad (3)$$

Граничні умови визначають прикладення одиничної сили стискання до першого та відсутність переміщень останнього M -того троса:

$$p_1(x=0) = 1, \quad (4)$$

$$u_M(x=-l) = 0. \quad (5)$$

Переміщення троса (1), закон Гука надають можливість визначити внутрішні сили розтягу троса та усереднені дотичні напруження в еластичній оболонці паса.

$$p_i = \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x}) \beta_m \cos(\mu_m(i-0.5)), (1 \leq i \leq M), \quad (6)$$

$$\tau_j = \frac{G k_G}{h-d} \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) [\cos(\mu_m(j-0.5)) - \cos(\mu_m(j+0.5))], \quad (7)$$

$$(1 \leq j < M).$$

Вирази для визначення напруженого стану паса дозволяють розв'язати актуальну задачу впровадження пасової передачі з кінематичним зв'язком.

Література:

1. Бельмас І.В. Пат. 117954 Україна, МПК F16H 55/17 (2006.01). Зірочка / І.В. Бельмас, О.І. Білоус, Г.І. Танцура, І.Т. Бобильова; Заявник і патентовласник: Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське; заявл. 26.09.2016; опубл. 25.10.2018; Бюл. № 20. – 18 с. :іл.

2. Танцура Г.І. Гнучкі тягові органи. Стикові з'єднання конвеєрних стрічок: монографія / Г.І. Танцура. – Д. : Вид-во Дніпродзержинського державного технічного університету, 2010 -127 с.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ФРИКЦІЙНОГО ПЛАКУВАННЯ

Бурда М.Й., доцент, Гладкий С.І., к.т.н., доцент, Деменський С.С., магістрант

Івано-Франківський національний університет нафти і газу

Одним із ефективних шляхів підвищення службових властивостей робочих поверхонь деталей машин є нанесення захисних покриттів, які володіють низкою сприятливих трибологічних властивостей: високою зносостійкістю, антифрикційністю, змочуваністю мастильним матеріалом тощо. Великий вплив

на роботоздатність виробів взагалі та вузлів тертя зокрема має деформаційне зміцнення поверхневого шару. В деяких випадках процеси нанесення покриття та зміцнення можуть бути поєднані. На наш погляд, доцільно створювати матеріали з принципово новими заздалегідь заданими властивостями в поверхневих шарах або наносити попередньо підготовлений композиційний матеріал на поверхню виробу у вигляді покриття.

З зв'язку з цим значний інтерес представляє технологія фрикційного плакування, яка поєднує зміцнення, модифікування та захист поверхні металів за рахунок пластичного деформування поверхневого шару, суміщеного із нанесенням покриття гнучким інструментом – щіткою з металевим ворсом.

Суть технології ФП полягає у притисканні витратного елемента із матеріалу покриття (МП) з певним зусиллям (натягом) до гнучкого інструменту (ГІ), що обертається [1, 2]. В зоні контакту витратного елемента внаслідок фрикційної взаємодії з металевим ворсом ГІ, МП розігрівається до високої температури. Частинки МП схоплюються з кінцями ворсин щітки і переносяться на оброблювану поверхню виробу. При цьому одночасно відбувається зачищення поверхні виробу, її нагрівання та сумісне пластичне деформування поверхневого шару і частинок МП та перенесення останніх на оброблювану поверхню деталі. Дана технологія володіє низкою переваг у порівнянні із традиційними: низька металоємність та енергоємність, відсутність складних і шкідливих для обслуговуючого персоналу операцій попередньої підготовки поверхні, високий к.к.д. і продуктивність процесу та його екологічна чистота.

У якості МП можуть використовуватися різні метали, сплави, їх поєднання у вигляді попередньо виготовлених композиційних матеріалів, покриття з яких володіє необхідними функціональними властивостями.

Авторами розроблена технологія ФП [2], яка дозволяє змінювати компонентний склад покриття без необхідності попереднього композиційного матеріалу для витратного елемента.

Розроблена технологія передбачає удосконалення пристрою для нанесення покриттів на деталі, в якому шляхом модифікації конструкції витратного елемента та спорядження його приводами обертання та осьового зворотно-поступального переміщення відносно щітки забезпечується незалежність кінематичної взаємодії щітки із витратним елементом і розширюються функціональні можливості пристрою. За рахунок цього досягається організація відповідної взаємодії щітки з окремими складовими частинами блоків витратного елемента, що дозволяє формувати на деталях функціональні якісні, структурно однорідні покриття зі сплаву із заданим компонентним складом.

Пристрій для нанесення покриттів на деталі (рис.1) працює таким чином.

Спочатку шляхом допоміжних налаштувальних переміщень встановлюють задані технологічні натяги: між щіткою 2 та робочою циліндричною поверхнею блоків 12 витратного елемента і між щіткою 2 та деталлю 16 відповідно.

Після цього проводять кінематичне настроювання пристрою та верстата і вмикають їх електричні приводи: 4, 10 та 11.

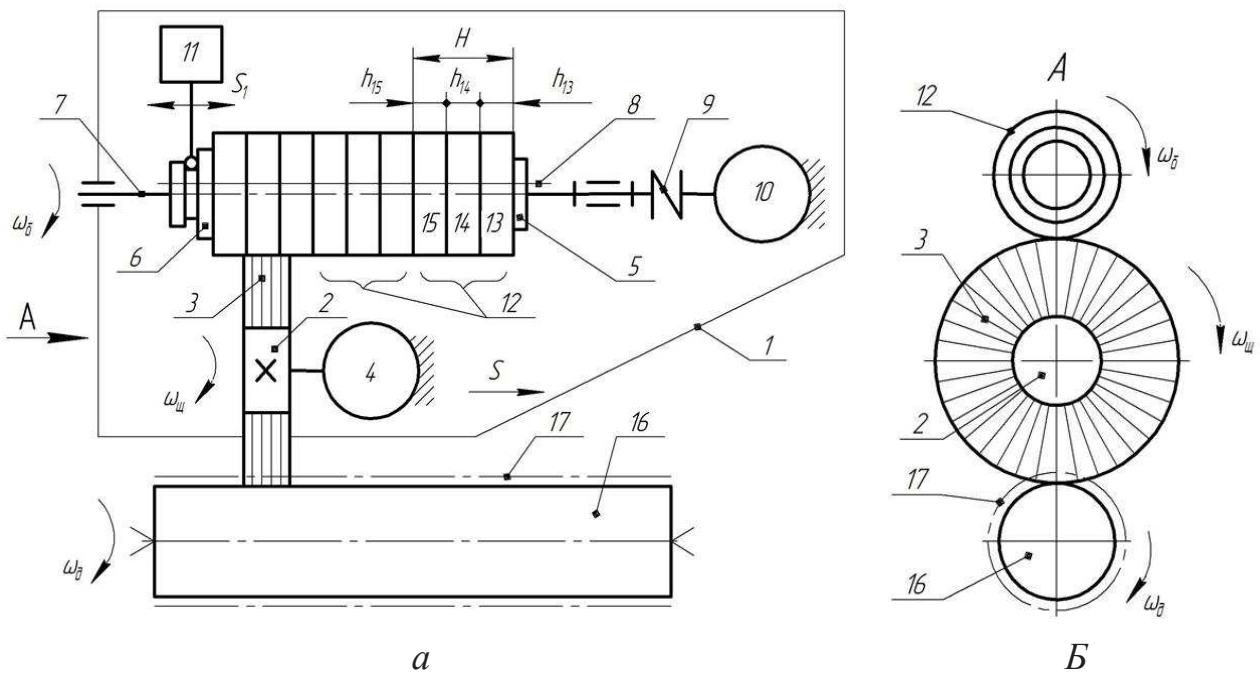


Рис.1. Схема удосконаленого пристрою для фрикційного плакування:
а – вигляд спереду; б – вигляд збоку

Під час нанесення покриття 17 дротини металевого ворсу 3 щітки 2 взаємодіють із зовнішньою робочою циліндричною поверхнею витратного елемента, що складається із блоків 12. У зоні контакту матеріал покриття розігрівається до температури плавлення. Частинки металу покриття схоплюються з кінцями ворсу 3 щітки 2 і переносяться на оброблювану циліндричну поверхню деталі 16, формуючи на ній покриття 17. Одночасно відбувається зачищення та зміцнення за рахунок поверхневої пластичної деформації, а також сумісна пластична деформація поверхневого шару деталі 16 і частинок матеріалу покриття 17, що сприяє міцному зчепленню їх із основою (деталлю).

Оскільки витратний елемент виконаний у вигляді набору блоків 12, кожен із яких виконаний з кілець 13, 14, 15, що виготовлені із різних металів (наприклад, із міді, цинку, алюмінію), і має можливість осьового зворотньо-поступального переміщення відносно щітки 2, то її металевий ворс 3 буде знімати і переносити на поверхню деталі 16 відповідно частинки різних металів. При цьому кількість перенесеного металу буде пропорційна висотам h_{13} , h_{14} , h_{15} кожного із набору кілець 13, 14, 15.

В результаті перенесення металевим ворсом 3 щітки 2 частинок із блоків 12, виготовлених з різних металів, на поверхню деталі 16, відповідно, відбуватиметься їх перемішування і формування покриття 17 зі сплаву, компонентний склад якого міститиме метали із кілець 13, 14, 15 у заданому співвідношенні.

Для забезпечення заданого перенесення металів із різних кілець 13, 14, 15 необхідно використовувати у витратному елементі щонайменше три блоки 12. Величина осьового зворотньо-поступального переміщення оправки 5, 6

витратного елемента відносно щітки 2 з лінійною швидкістю S_1 , яка забезпечується приводом 11, має бути не меншою за висоту H блоку 12.

По мірі зносу кілець 13, 14, 15 блоки 12 міняють місцями, забезпечуючи таким чином економне використання вихідних матеріалів для формування покриття 17 відповідно.

Застосування пристрою для нанесення покриттів забезпечує формування на деталях функціональних якісних, структурно однорідних покриттів зі сплавів із заданим компонентним складом.

Література:

1. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытий при нанесении гибким инструментом. Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. – 231 с.

2. Заявка на винахід № а201707775, В24В 39/04 (2006.01). Пристрій для нанесення покриттів / Бурда М.Й., Роп'як Л.Я., Бурда Ю.М., Деменський С.С. Опубліковано 25.01.2018, бюл. № 2.

КОНСТРУЮВАННЯ УСТАНОВКИ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТВА З ШИРОКИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Борушак С.Л., студент, Шуляр І.О., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Виробництво прогресивних інструментів для буріння свердловин або руйнування гірських порід при спорудженні тунелів чи видобуванні корисних копалин неможливе без використання сучасних ливарних технологій. При цьому необхідно забезпечити ливарне виробництво установками з широкими технологічними можливостями, зокрема для відцентрового литва [1].

Відома конструкція ливарної машини для відцентрового литва і армування виливків, яка забезпечує зміну положення осі обертання ливарної форми відносно горизонтальної площини [2] та переміщення ливарної форми відносно осі нахилу останньої до горизонту. Кожне переміщення забезпечується окремим приводом з регульованими кінематичними характеристиками. Однак у багатьох випадках на виробництві немає необхідності переміщати опоку відносно осі її нахилу у вертикальній площині.

З метою спрощення конструкції ми розробили ливарну установку, що забезпечує обертання ливарної форми навколо своєї осі, регулювання кута нахилу цієї осі до горизонту, а також переміщення допоміжного пристрою – лійки – вздовж осі форми, але без приводу переміщення ливарної форми вздовж осі її обертання. Конструювання установки здійснювалось із застосуванням редактора SolidWorks, що дає можливість спростити процес підготовки конструкторської документації.

Конструкція установки зображена на рис.1. До поворотної платформи 2 кріпиться шпindelний вузол 3 з регульованим двигуном 4. На фланці вала

шпинделя змонтована чаша 5, у якій розміщена заформована опока 6 з керамічною формою. Поворотна платформа 2 цапфами встановлена в основі 1. Зміна кута нахилу осі форми виконується через редуктор 10 двигуном 11. Для заливання рідкого металу та введення у форму інших компонентів служить лійка 7, змонтована на кронштейні 8 з рейкою. Переміщення лійки вздовж осі обертання форми здійснюється кроковим механізмом 9. Задання технологічних режимів та геометричних параметрів установки виконується з допомогою контролерів.

Зміна кута нахилу осі форми, положення заливної лійки у формі та швидкостей її обертання забезпечують отримання осесиметричного виливка практично довільної конфігурації з армованою зоною у заданому об'ємі виливка.

Таким чином, комп'ютерні технології 3D моделювання оптимально візуалізують досить складні інженерні механізми і дозволяють з мінімальними втратами часу виконувати коригування конструкції в цілому та окремих її елементів.

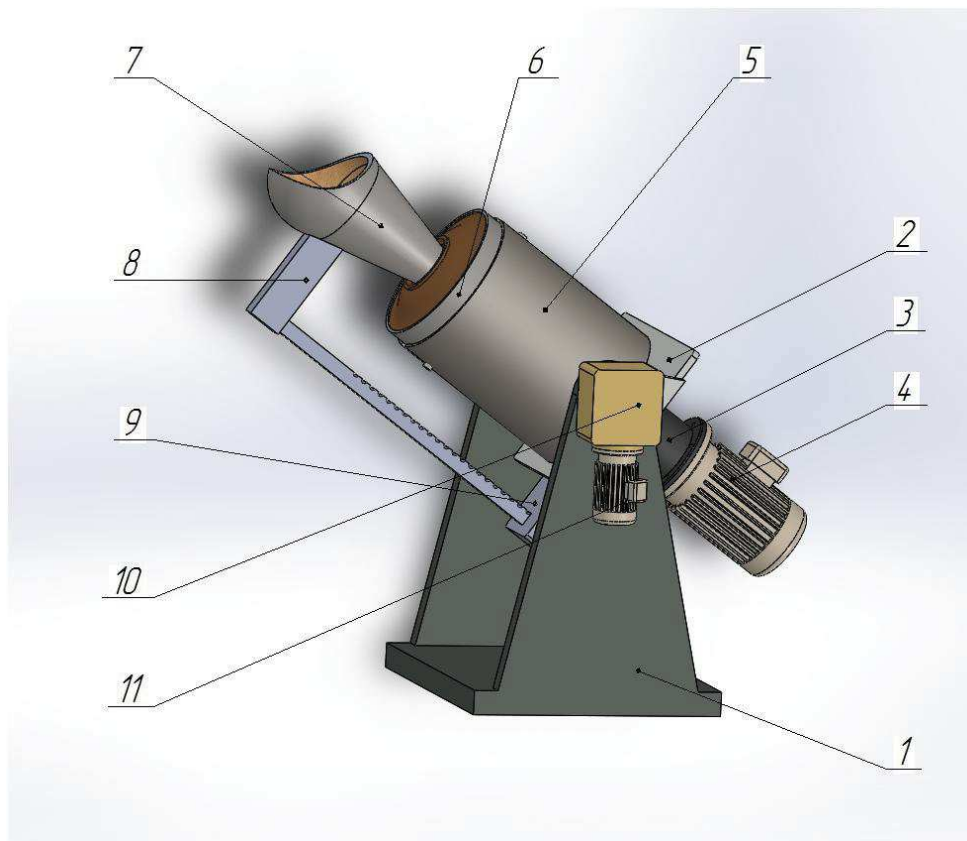


Рис.1. Конструкція установки відцентрового литва та армування заготовок

Література:

1. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. М., Машиностроение, - 1972. 280с.

2. Пат. 72194 Україна, МПК В 22 D 13/02. Машина для відцентрового литва і армування виливків / І. О. Шуляр, Л. О. Борушак, С. Л. Борушак; u201200992; заявл. 31.01.12; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НАРІЗЕВИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБНИХ КОЛОН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН НЕТРАДИЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ

Василишин В.Я., к.т.н, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Всебічне дослідження взірців насосно-компресорних труб (НКТ) базується на оцінці багатьох факторів, серед них: оцінка механічних властивостей досліджуваного металу, оцінка корозійної сумісності НКТ зі свердловинними середовищами.

Для виявлення відхилень параметрів міцності сталей під дією експлуатаційних факторів в умовах свердловини і свердловинних мінералізованих рідин виконують дослідження взірців на міцність. Зменшення показників міцності порівняно з нормативними значеннями є основою для уточнення допустимих умов для подальшої експлуатації корозійно-пошкоджених НКТ. Уточнення стосується визначення обмеженої глибини їх спуску в свердловину на основі фактично виміряних параметрів міцності металу і фактичної площі несучого перерізу труби. Фактична площа несучого перерізу корозійно-пошкоджених труб визначається за відомим виразом із врахування зменшення зовнішнього D_3 і внутрішнього D_6 діаметрів за рахунок корозії:

$$F = 0,785 \left((D_3 - 2 \cdot h_{к.(з)})^2 - (D_6 - 2 \cdot h_{к.(6)})^2 \right),$$

де $h_{к.(з)}$, $h_{к.(6)}$ – глибина корозійного пошкодження стінок труби, відповідно зовнішньої і внутрішньої.

Глибина корозійного пошкодження $h_{к.}$ стінки труби визначається як середньозважена величина з виразу

$$h_{к.} = \frac{3,955 \cdot V_F \cdot D_3}{\rho_{\text{дуг}(з)} \cdot (D_3 - D_6) \cdot z},$$

де V_F – ймовірне найбільше значення об'єму корозійного пошкодження обстежених труб;

$\rho_{\text{дуг}(з)}$ – довжина дуги вздовж зовнішньої стінки елемента;

z – висота елемента.

Отримане значення F порівнюється з критичною площею $F_{кр}$ перерізу труби для визначення запасу надійності корозійно-пошкоджених труб НКТ по несучому перерізі, при цьому повинна виконуватися умова $F/F_{кр} \geq 1$.

Оцінка залишкового ресурсу корозійно-пошкоджених НКТ передбачає чотири підходи:

1) метод ймовірнісного розрахунку залишкового ресурсу на основі статичних вимірювань початкової товщини стінок труб; у цьому випадку значення залишкового ресурсу визначається як різниця

$$R_{зал.} = t - t_{к.},$$

де $t_{к.}$ – час, протягом якого труба піддавалась корозії;

$$t = \frac{t_{к.} \cdot \sqrt{1 - [1 - q(\tau)]^2}}{\sqrt{1 - [1 - q(\tau_n)]^2}} - \text{розрахунковий час безвідмовної роботи нового виробу}$$

при умові, що $q(\tau)$ – вірогідність відмови в момент часу τ , при якому максимальне із заміряних товщин стінок $\delta_{i\max}$ зменшиться до допустимого значення $\delta_{дон.}$ при виконанні умови

$$q(\tau) = \frac{\delta_{i\max} - \delta_{дон.}}{\delta_{i\max}},$$

а $q(\tau_n)$ – ймовірність відмови у момент часу τ_n , при якому відбувається повне руйнування зразка і виконується умова

$$q(\tau_n) = \frac{\delta_{i\max} - \delta_{i\min}}{\delta_{i\min}},$$

причому $\delta_{i\min}$ – мінімальне із заміряних значень товщин стінок у статистичній виборці.

Виконавши нескладні перетворення, отримаємо вираз для прогнозного розрахунку залишкового ресурсу корозійно-пошкоджених НКТ:

$$R_{зал.} = t_{к.} \cdot \left(\frac{\sqrt{1 - [1 - q(\tau)]^2}}{\sqrt{1 - [1 - q(\tau_n)]^2}} - 1 \right);$$

2) розрахунок залишкового ресурсу $R_{зал.}$ на основі вимірювання глибини $h_{к.}$ корозійного пошкодження поверхонь труб; у цьому випадку значення залишкового ресурсу визначається за формулою

$$R_{зал.} = \frac{h_{зал.}}{v_{к.}}, \quad (1)$$

де $h_{зал.}$ – товщина залишкового шару металу, допустимого для потоншення стінки труби, визначається так

$$h_{зал.} = \frac{0,875 \cdot \delta_n - \delta_{дон.} - 2 \cdot h_{к.}}{2}. \quad (2)$$

У цій формулі: $0,875 \cdot \delta_n$ – імовірна мінімальна товщина стінки ($0,875$ – коефіцієнт, що враховує стандартне граничне відхилення від товщини стінки, яке дорівнює 12,5%); δ_n – номінальна товщина стінки; $\delta_{дон.} = 0,75 \cdot \delta_n$ – допустима товщина стінки труби, при якій зберігається її несуча властивість; $h_{к.}$ – виміряна глибина корозійного руйнування стінки труби; $v_{к.}$ – швидкість корозії,

яка визначається з умови її пропорційності за період t_k корозійної дії, визначається так:

$$v_k = h_k / t_k \quad (3)$$

Розв'язавши сумісно (1), (2), (3), отримуємо вираз для розрахунку залишкового ресурсу корозійно-пошкоджених НКТ

$$R_{зал.} = t_k \cdot (0,0625 \cdot \delta_n - h_k) \cdot h_k^{-1};$$

3) розрахунок залишкового ресурсу корозійно-пошкоджених НКТ на основі лабораторних досліджень швидкості корозії трубних зразків; у цьому випадку значення залишкового ресурсу $R_{зал.}$ визначається з виразу:

$$R_{зал.} = \frac{0,0625 \cdot \delta_n - h_k}{v_{к.лаб.}},$$

де $v_{к.лаб.}$ – вимірня швидкість корозії трубних зразків в лабораторних умовах.

4) розрахунок залишкового ресурсу за результатами втомних випробувань.

Таким чином, оцінка залишкового експлуатаційного ресурсу корозійно-пошкоджених НКТ базується на основі імовірнісного підходу з умовою статистичних вимірювань початкової товщини стінок труб, а також на основі прямого вимірювання глибини корозійного пошкодження за період корозійної дії у різноманітному пластово-свердловинному середовищі.

Література:

1. Васишин В.Я. Підвищення працездатності різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.12 Івано-Франківський національний технічний. університет нафти і газу, 2013. – 20 с.
2. Васишин В.Я. Вплив крутного моменту згвинчування на опір втомлюваності замкових різьбових з'єднань бурильних труб / В.Я.Васишин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №4(37.). – С.55–58.
3. Рачкевич Р.В. Напружено-деформований стан стисненої бурильної колони у горизонтальному стовбурі свердловини. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* –2012. – № 3 (44). – С. 70 – 77.
4. Рачкевич Р.В. Прогнозування довговічності бурильної колони в ускладнених умовах буріння свердловини: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.12 Івано-Франківський національний технічний. університет нафти і газу, 2013. – 20 с.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНОГО ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО МЕТОДІВ У ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ

Винничук Б.Б., студент, Борушак Л.О., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

В сучасних умовах здійснення інженерної діяльності практично немислиме без комп'ютерних технологій. В першу чергу це стосується проектування металоконструкцій, механізмів та машин. Переважно для таких завдань використовують чисто інженерні пакети програм (SolidWorks, PowerShape та ін.), розрахункова частина яких ґрунтується на застосуванні методу скінченних елементів. Проте часто конструкції не є порівняно складними, а використання вказаних програм потребує суттєвої потужності комп'ютерів для створення 3D моделей конструкцій та їх подальшого дослідження. В той же час існують навчальні програми, наприклад, Sopromat, призначені для розрахунку конструкцій в навчальному процесі технічного вузу. У вказаному середовищі можна визначати реакції опор конструкцій, будувати епюри сил, моментів, переміщень тощо, застосовуючи аналітичні формули.

Ми поставили перед собою мету порівняти чисельні результати розрахунків напружень та переміщень окремих частин двохопорної балки, навантаженої силою, крутним моментом та розподіленим навантаженням. Застосуємо дві програми – Sopromat та SolidWorks з додатком Simulation.

Спочатку у програмі Sopromat виконаємо ескіз конструкції зі схемою навантаження і числовими параметрами (рис. 1).

Укажите размеры балки и нагрузки:

Длина балки:	$L = 3$	(м)
Правая консоль:	$L_2 = 1$	(м)

Распределенная нагрузка:	$q_1 = 8$	(кН/м)	$a_1 = 1.5$	(м)
			$b_1 = 2.5$	(м)
Сосредоточенная сила:	$F_1 = 3$	(кН)	$c_1 = 1.5$	(м)
Внешний момент:	$M_1 = 1$	(кНм)	$d_1 = 3$	(м)

Дополнительно:

Строить эпюры перемещений

Эпюра M "на растянутом волокне" (строители)

<< Назад
Рассчитать >>

Рис.1. Розрахункова схема та вихідні параметри

Програма виконає розрахунок, створить епюри силових факторів, підбере необхідний переріз балки – двотавр №10 та визначить переміщення вільного кінця балки, яке становить 1,33 мм (рис.2).

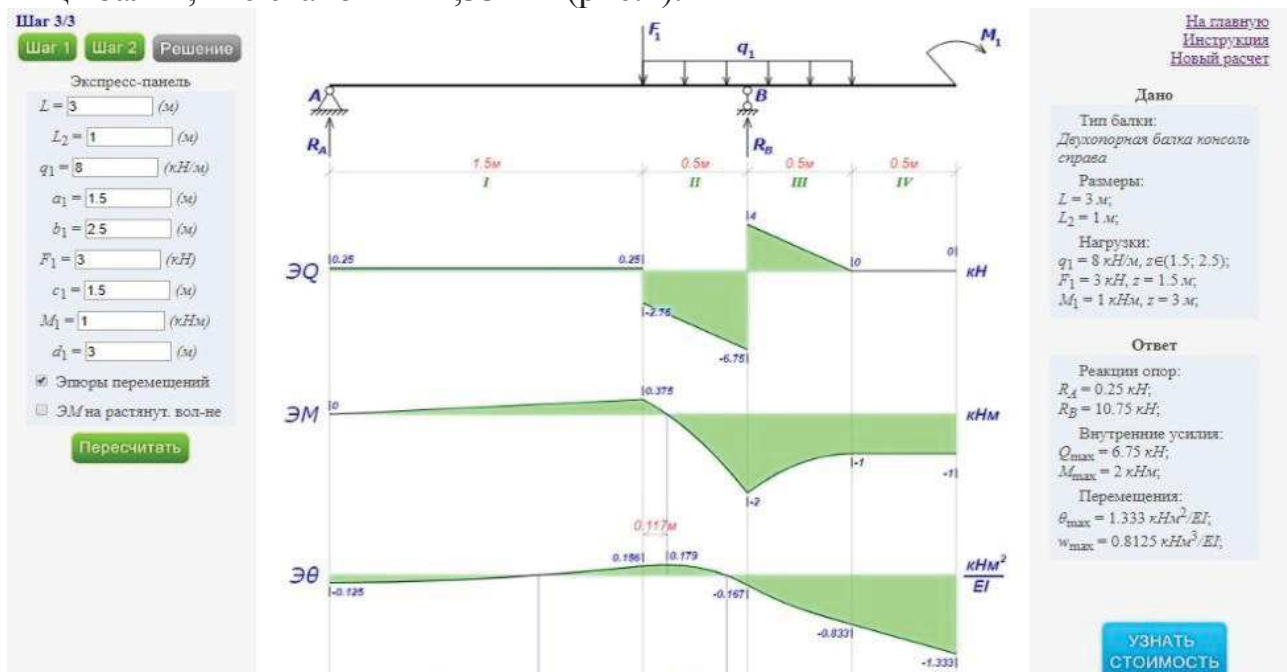


Рис.2. Результаты расчета у программе Sopromat

У середовищі SolidWorks створимо модель двотаврової балки №10 (рис. 3), а в додатку Simulation задамо умови кріплення конструкції та силові фактори і виконаємо статичні дослідження.

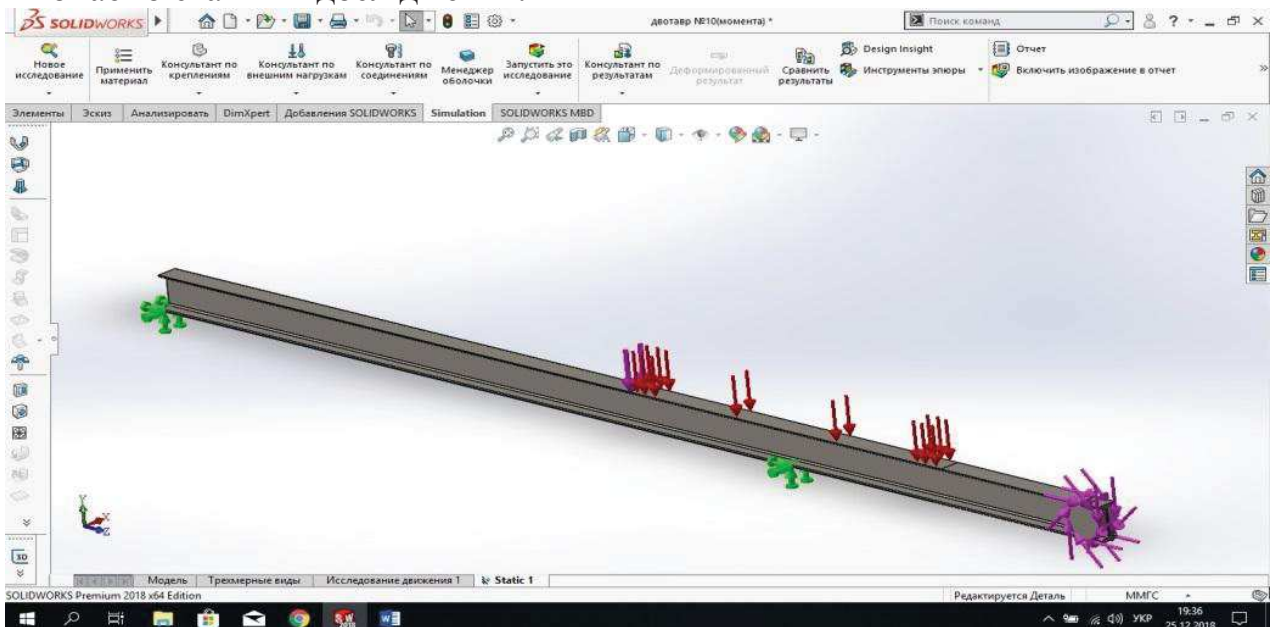


Рис.3. 3D-модель балки, умови кріплення та навантаження

Окремими кадрами отримаємо характер розподілу напружень та переміщень у будь-якому перерізі балки (рис. 4, 5).

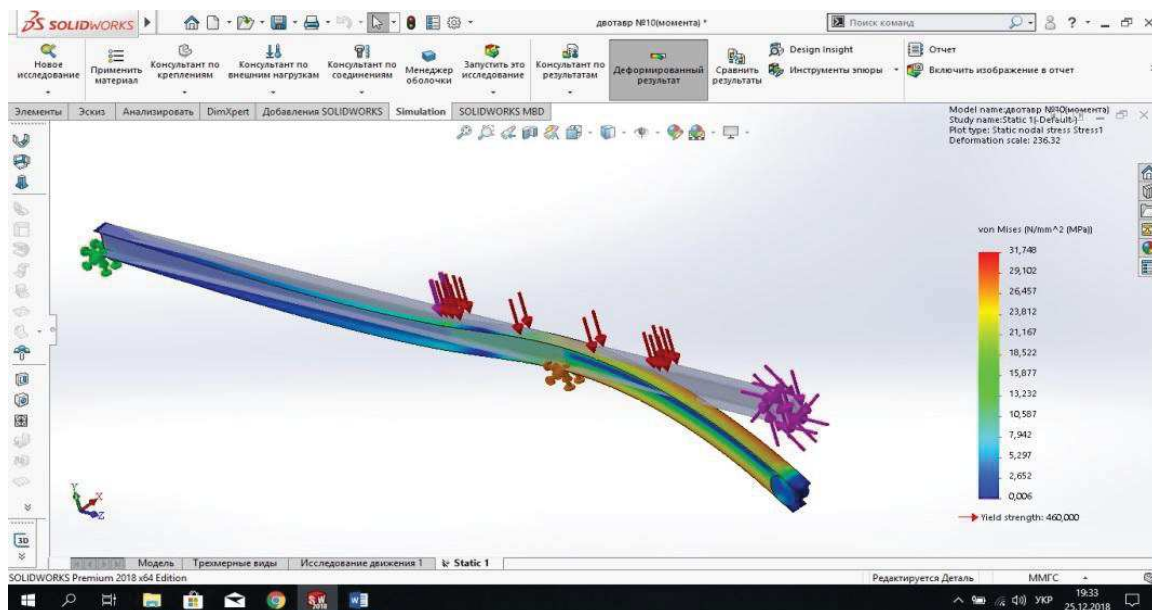


Рис.4. Визначення напружень у конструкції балки

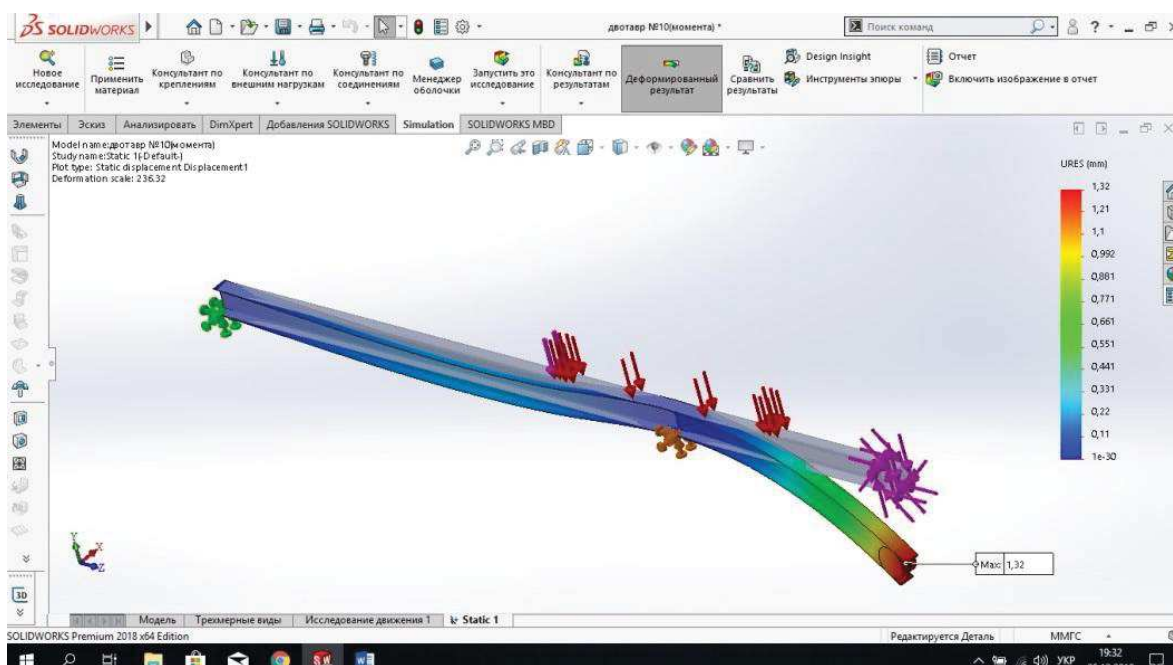


Рис.5. Визначення переміщень елементів конструкції балки

Числові дані переміщень вільного кінця балки становлять 1,33 та 1,32 мм, тобто практично однакові. Таким чином, можемо зробити висновок, що в окремих випадках для розрахунку інженерних конструкцій застосування аналітичних навчальних програм є обґрунтованим і забезпечить достовірні результати.

Література:

1. Степин П.А. Сопротивление материалов: Учебник для немашиностроительных специальностей вузов. – 7-е изд. – М.: Высш. школа, -1983. – 303 с., ил.
2. Solid Works. Дэвид Мюррей. Пер. с англ. – М.: Лори, 2001. – 458с.
3. Алямовский А.А Solid Works/COSMOS Works. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.: ил (Серия «Проектирование»).

СТИМУЛЮВАННЯ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Войтенко П.І., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Як свідчить досвід високорозвинених країн, великих успіхів в економічному розвитку досягають ті країни, які будують свою економіку на базі досягнень власних науково-технічних кадрів, максимально сприяючи підвищенню освітнього рівня всього населення країни.

Освітній рівень зайнятого населення в Україні є недостатнім для забезпечення високого добробуту її громадян. Якщо система освіти в країні не сприяє економічному зростанню, підвищенню добробуту її носіїв і населення в цілому, то така освіта не може вважатись якісною.

На даний час відсутня державна стратегія у розвитку системи підготовки кадрів відповідно до потреб економіки. Вищі навчальні заклади почасти готують практично незатребуваних фахівців. В той же час є великі замовлення на робітничі професії. Це свідчить про наявність професійно-кваліфікаційного дисбалансу між потребами ринку праці та масштабами і структурою підготовки кадрів навчальними закладами, що зумовлює значні непродуктивні витрати державних і особистих коштів громадян, а також моральні втрати суспільства.

Сьогодні при наборі у вузи практично відсутній конкурс, у вузах навчаються випускники шкіл навіть з низьким рівнем шкільної підготовки. Здобування вищої освіти в Україні практично перетворилось на форму зайнятості молодого покоління, що не піднімає освітній рівень населення, а навпаки приводить до його професійної деградації, що підкріплюється неможливістю отримання і закріплення практичних професійних навичок в реальному виробництві як під час навчання у вузі так і після його завершення. Недостатній відсів студентів за неуспішність породжує байдужість до навчального процесу, сприяє негативному впливові невстигаючих студентів на тих, хто навчається успішно.

Важливим стимулом до активного навчання є престиж вибраної професії, можливість трудовлаштування за фахом, достатній рівень заробітної плати, потреба суспільства в таких фахівцях. В даний час більшість студентів не бачать перспективи після закінчення навчання у вузі, тому здобувають другу вищу освіту (на всякий випадок), а то й робітничу.

В зв'язку з цим роль викладача, його викладацька майстерність в таких умовах набувають особливого значення як в навчанні, так і у вихованні студентської молоді. Одним із завдань педагога вищої школи в даний період є формування стійких переконань в необхідності здобуття стійких і ґрунтовних знань. Студента необхідно переконати, що освітній рівень реальний, а не формальний, здобутий у вузі, сприятиме його становленню як фахівця в майбутній діяльності при реалізації новітніх технологій, які високими темпами з'являються і вдосконалюються у всесвітньому виробництві.

Використовуючи психологічний фактор, викладач мусить будувати навчальний процес таким чином, щоб в процесі засвоєння нового матеріалу студента супроводжували евристичні почуття задоволення від збагачення себе новими, раніше невідомими знаннями.

Сучасне комп'ютерне оснащення навчального процесу забезпечує доступність студентів до будь-якої науково-технічної чи навчальної інформації в будь-який час і дає можливість студенту оперативно і продуктивно опрацьовувати навчальний матеріал. В той же час не завжди можливий оперативний зв'язок студента з викладачем, коли виникає необхідність в консультації. Тому актуальним стає забезпеченість викладача необхідними засобами і у позаурочний час, що успішно вирішено в розвинутих країнах.

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

¹Воронцов Б.С., *д.т.н., професор*, ²Кривошея А.В., *к.т.н., с.н.с.*

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

Аналіз сучасного стану проблеми забезпечення якості, в першу чергу, кінематичної точності і плавності роботи зубчастих передач, профіль зубців яких окреслено довільної, не тільки евольвентної кривої, показав, що не вирішивши питання забезпечення точності в теоретичному плані на етапі проектування виробу і процесу його формоутворення, неможливо отримати позитивні результати в процесі обробки зубчастих коліс [1].

При різноманітних способах виготовлення деталей процес формоутворення заданої поверхні полягає у взаємодії заготовки та інструмента, які здійснюють певні рухи відповідно до прийнятої схеми оброблення. Тому форма оброблюваної поверхні деталі визначатиметься формою та розміром робочих поверхонь інструмента та його рухами відносно заготовки. Процес, який розглядається, ускладнюються супровідними явищами. До них належать: деформації деталі, інструменту та обладнання; похибки інструменту, пристроїв, обладнання; зношування елементів технологічної системи; похибки вимірювань, настроювання обладнання; температурні деформації заготовки, обладнання та інструментів; вібрації при обробленні тощо. Тобто при формуванні оброблюваної поверхні деталі основний процес не може бути реалізований в чистому вигляді, а супроводжується всілякого роду суміжними явищами, і тільки в результаті їх взаємодії визначається реальна форма оброблюваної поверхні деталі [2].

Базовим поняттям у вирішенні завдань формоутворення є «ідеальний процес – модель реального процесу. При розробленні ідеального процесу формоутворення враховуються основні фактори, які впливають на форму оброблюваної поверхні виробу, а саме: рухи, які виконуються в процесі

обробки інструментом та заготовкою, форма і розміри поверхонь інструмента, що безпосередньо торкаються матеріалу заготовки і формують оброблену поверхню. Вважається, що деталь, інструмент та обладнання не деформуються і не зношуються, теоретично точно виготовлені і працюють елементи технологічної системи, точно здійснюється налагоджування обладнання, не враховується вплив на процес формоутворення теплових явищ.

Ідеальний процес формоутворення практично не можна реалізувати, але його аналіз надає практиці значну допомогу. На основі дослідження ідеальних процесів, як показує практика машинобудування, створюються нові прогресивні методи оброблення, нові типи інструментів та обладнання.

В практиці на основі розробленого ідеального процесу створюється реальний процес. Реальний процес вивчається з урахуванням усіх взаємодіючих факторів, найчастіше експериментально, і в нього, якщо це необхідно, вносяться відповідні корективи [2].

Створення комп'ютерно-інтегрованої системи забезпечення формоутворення зубчастих коліс дозволяє вже на стадії проектування виключити похибки, викликані помилками теоретичного формоутворення профілю зубців.

Ключовим елементом, що зв'язує всі етапи, є вибір і обґрунтування схеми формоутворення, для якої слід шукати можливість керування її параметрами.

Таким чином, зв'язки елементів системи забезпечення точності формоутворення зубчастих коліс для ідеального процесу можуть бути представлені у вигляді (рис. 1).



Рис. 1. Зв'язки елементів системи забезпечення точності формоутворення зубчастих коліс для ідеального процесу

В результаті комплексних досліджень процесу формоутворення зубчастих коліс в частині інтерактивного керування формою поверхні, параметризації функції формоутворення для різних кінематичних схем, аналізу геометричних та кінематичних показників як процесу формоутворення, так і процесів взаємодії зубців зубчастих коліс, реалізована комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс, в основу якої покладено уніфіковані керуючі параметри системи формоутворення, її елементів, якісних

показників, що забезпечує можливість розробки автоматизованих систем забезпечення формоутворення зубчастих коліс та їх інтеграцію в системи автоматизованого проектування, виробництва, аналізу та контролю.

Література:

1. Воронцов Б. С. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс. автореф. дис... доктора техн. наук. Київ, 2018. – 40 с.
2. Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навч. посіб. для студентів механічних спец. ВНЗ / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, О.В. Мамлюк, Т.П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко. – К.: Вид. СКД-Друк, 2013. – 215 с.

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИН КОНТАКТНОГО ТИСКУ МІЖ ПОВЕРХНЯМИ НАРІЗЕЙ НІПЕЛЯ І МУФТИ ЗАМКОВОГО З'ЄДНАННЯ 3-30

Врюкало В.В., к.т.н., доцент, Медвідь Ю.В., магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Замкові нарізі, які призначено для з'єднання елементів бурильних колон характеризуються такими параметрами: згвинчуваність, герметичність, механічна міцність з'єднання.

Замкове нарізеве з'єднання 3-30 належить до числа чотирьох найменших за діаметром типорозмірів, які виконують за формою VI, що відповідно до стандарту API 7 зображено на рисунку 1.

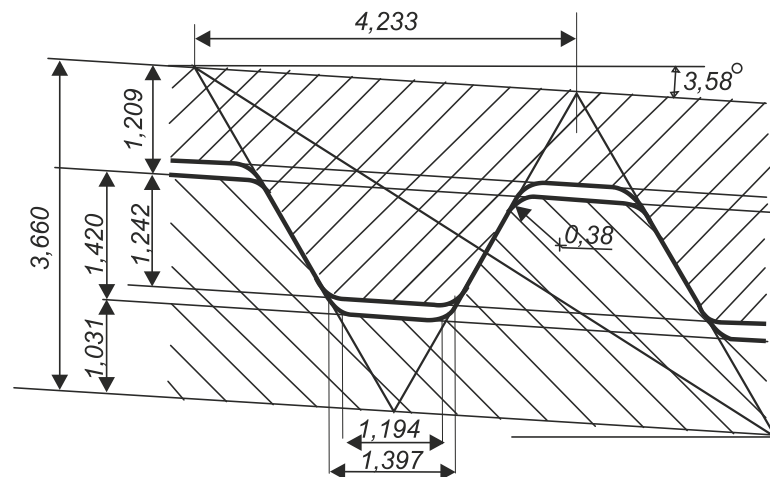


Рис. 1. Схема профілю замкового нарізевого з'єднання згідно з формою VI за стандартом [1].

Герметичність бурильних замків забезпечують за рахунок щільності прилягання торців муфти і ніпеля, але у процесі багаторазових дій згвинчування-розгвинчування відбувається пластична деформація як самих торців, так і витків нарізі, внаслідок чого щільність прилягання торців зменшується.

За теоретичними даними [1] існує функціональна залежність площі взаємного контакту поверхонь ніпеля та муфти F_k у процесі їх згвинчування на

кількість обертів m , від значення h робочої висоти профілю нарізі. З технологічної точки зору величину h забезпечує використання у процесі точіння повнопрофільна різальна кромка. Згідно із даними [2] вказану величину можна збільшити заради підвищення герметичності нарізі. На рисунку 2 представлено схему профілю замкової нарізі, яка відрізняється від стандартної (див.рис.1) тим, що величину h показано як змінну. Тобто, крім стандартного значення $h=1,242$ мм, на рисунку зірочкою відзначено значення $1,342^*$ мм. Відповідно величина a змінюється від стандартної $1,397$ (мм) до $1,251^*$ (мм).

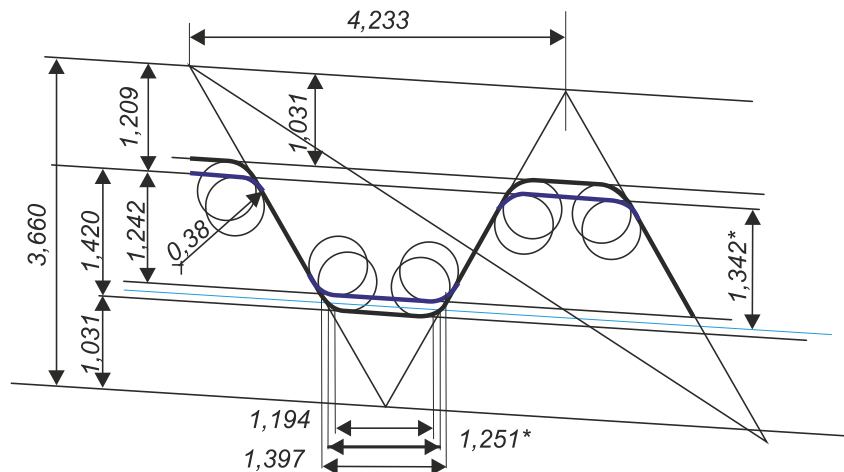


Рис.2. Схема профілю замкової нарізевого з'єднання згідно з формою VI зі змінними значеннями h і a .

Таблиця 1. Залежність контактного тиску p_k на бічну поверхню замкової нарізі 3-30 у момент установки від величини h . Вага колони - 10 тон.

Значення робочої висоти нарізі h (мм)	Тиск між нарізями (МПа)		
	У момент установки боками	У момент установки гребенями	У момент повного загвинчення
1,242 (стандарт)	132	349	657
1,342 (збільшено)	142	95	606

Висновок: Контактний тиск між поверхнями нарізі 3-30 залежить від величини робочої висоти, особливо у момент установки ніпеля у муфту при контакті їх гребенями нарізі.

Література:

1. Семин В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин [Текст]: дис. ... докт. техн. наук : 25.00.15, 05.02.13 / Семин Владимир Иванович – Москва, 2005. – 344 с. – Библиогр.: с.232–344.

2. Онисько О.Р. Профіль різальної кромки різців для виготовлення замкової нарізі з мінімальною негерметичністю.[Текст] / О. Р. Онисько, Л. Д. Пітулей, І. З. Довбуш// Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. –2018.- №891.– С. 42-51.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ В ГАЗОВИХ ОПОРАХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ

Віштак І.В., к.т.н., доцент

Вінницький національний технічний університет

Новітні методи та дослідження в галузі наноматеріалів та нанотехнологій розвиваються та призводять до кардинальних змін у майже всіх напрямках діяльності людини: в матеріалознавстві, машинобудуванні, енергетиці, електроніці, медицині та багатьох інших. Поряд з комп'ютерними та біотехнологіями, нанотехнології є основою науково-технічної революції сучасності [1-4].

Однією з галузей науки про матеріали, що стрімко набуває розвитку та застосування, є технології обробки поверхні матеріалів. Аналіз сучасних робіт показав, що існує багато методів, пов'язаних зі створенням на поверхні матеріалів, особливо металевих, модифікованих шарів, вони і досі вивчаються, відпрацьовуються та широко застосовуються на практиці [5-12]. Багато з таких досягнень або їх удосконалених варіантів можуть розглядатися як методи нанотехнології, так як дозволяють створювати нанорозмірні та (або) наноструктурні шари на поверхні матеріалів, композиційні матеріали з наноконпонентів, а в ряді випадків і наноматеріали в вигляді нано- і мікрровиробів.

Технології обробки поверхні, що орієнтовані на нанотехнології, умовно поділяються на дві великі групи: засновані на фізичних процесах і засновані на хімічних процесах. Серед усіх наноорієнтованих технологій обробки поверхні найбільш перспективними є іонно-вакуумні технології нанесення покриттів [12, 13]. Такі шари відрізняються високою адгезією, а температурний вплив на матеріал основи мінімальний. Аналіз літературних даних, проведений в роботі [3, 5, 10], показав, що розмір кристалітів в плівках, отриманих за технологіями вакуумного нанесення, може досягати 1-3 нм.

Аналіз сучасних досягнень в цій області привів до можливості використання нанопокриттів на поверхні підшипників з газовим мащенням [14, 15]. Покращити характеристики газових опор шпиндельних вузлів можливо шляхом зміни властивості матеріалів – нанесення нанопокриттів вуглецю на зовнішні поверхні газових опор. Нановуглецеві покриття забезпечують високі характеристики робочих поверхонь пар тертя: високу електропровідність та теплопровідність, дуже низький коефіцієнт тертя, високу міцність та ударну в'язкість, корозійну стійкість при нормальних та підвищених температурах. Одним з вагомих аргументів є те, що при нанесенні нановуглецевого покриття на поверхні газових опор зменшується ймовірність схоплювання рухомих та нерухомих деталей в моменти запуску та аварійних зупинок. Вуглецеві нанопокриття характеризуються високою корозійною стійкістю та зносостійкістю, значення яких в рази перевищують аналогічні характеристики, отримані на інших покриттях. Подальших досліджень в напрямку перспективного використання нанотехнологій для покращення характеристик

газових опор шпindelних вузлів та вдосконалення конструкції поверхонь вимагає проблема їх великої швидкості обертання та малої навантажувальної здатності та значних витрат газу.

Література:

1. Новые материалы. под ред. Ю. С. Карабасова – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
2. Алферов Ж.И., Копьев П.С., Сурис Р.А. и др. Наноматериалы и нанотехнологии. // Нано- и микросистемная техника. 2003. №8. С.3-13.
3. Алфимов С.М., Быков В.А., Гребенников Е.П. и др. Развитие в России работ в области нанотехнологий. // Нано- и микросистемная техника. 2004. №8. С.2-8.
4. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure.// Acta mater., 2000. V.48. P.1-29.
5. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
6. Новое в технологии получения материалов / Под ред. Ю.А. Осипьяна и А. Хауффа. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
7. Bunshah R.F. at al. Deposition technologies for films and coating. – Park Ridge, New Jersey (USA): Noyes Publikations, 1982. 489 p.
8. Frey H., Kienel G. Dünnschichttechnologie. - Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987.
9. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992.
10. Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления. М.: Металлургия, 1992.
11. Реди Дж. Промышленные применения лазеров. – М.: Мир, 1981. 638 с.
12. Технология тонких пленок. / Под ред. Л. Майссела и Р. Глэнга. – М.: Сов. радио, 1970. Т.1.– 664 с., Т.2.-768 с.
13. Віштак І. В. Огляд наноматеріалів та нанотехнологій та перспективи їх використання в газових опорах шпindelних вузлів / І. В. Віштак // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – №1 (7). – с. 35 - 43. ISSN 2415-3486.
14. Віштак І.В., Савуляк В. І . Зміцнення поверхонь газостатичних опор шпindelних вузлів шляхом нанесення вуглецевого наночастиці / Збірник тез доповідей: Львів, - НУ «ЛП», 2017. – с. 57.

РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ КУЛАЧКА НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

**Врюкало В.В., к.т.н., доцент, Гаврилів Ю.Л., к.т.н., доцент,
Гаврилів С.Ю., аспірант**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

SprutCAM - сучасна повнофункціональна САМ-система, яка призначена для розробки керуючих програм для обробки деталей різної складності на фрезерних, токарних, ріжучих верстатах і токарно-фрезерних оброблюючих центрах з ЧПК. SprutCAM використовується при виготовленні штампів, прес-форм, ливарних форм, прототипів виробів, майстер-моделей, деталей машин і конструкцій, оригінальних виробів, шаблонів; при гравіюванні та вирізанні написів та зображень.

SprutCAM працює безпосередньо з геометричними об'єктами початкової моделі без попередньої апроксимації або триангуляції. Це дозволяє, по-перше, максимально економно використовувати ресурси комп'ютера, а, по-друге, проводити розрахунок траєкторії інструмента з будь-якою необхідною точністю.

Перевагами системи є: розвинуті засоби імпорту та перетворення геометричної моделі; коректна обробка розривів і переплітань між формоутворюючими поверхнями; наскрізна передача стану заготовки між етапами і різними видами обробки; розширений набір функцій управління параметрами технологічних операцій; множина методів оптимізації обробки; обов'язковий контроль на підрізання на всіх стадіях розрахунку траєкторії; реалістичне моделювання обробки; простота в освоєнні та використанні; зручний інтерфейс, який практично виключає потребу у використанні документації.

При розробці керуючої програми для ЧПК для обробки зовнішньої поверхні кулачка приймаємо, що заготовка деталі має форму бруска. Заготовка для обробки закріплюється на столі верстата у пристрої.

Після запуску системи створюємо новий проект і імпортуємо в нього твердотільну модель оброблюваної деталі – кулачка, створену в середовищі системи КОМПАС-3D і збережену у форматі “igs” (рисунок 1).

Для задання верстату, на якому буде проводитись обробка деталі, відкриваємо вікно параметрів, вибираємо закладку «станки» і з бази даних верстатів вибираємо 3-х координатний фрезерний верстат (рисунок 2).

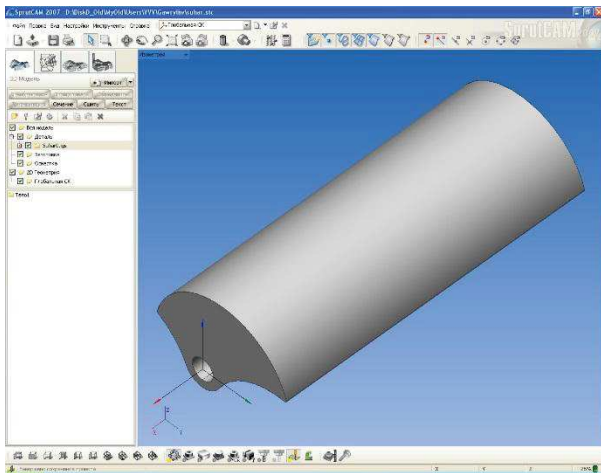


Рис.1. Твердотільна модель деталі, імпортована в середовище SprutCam

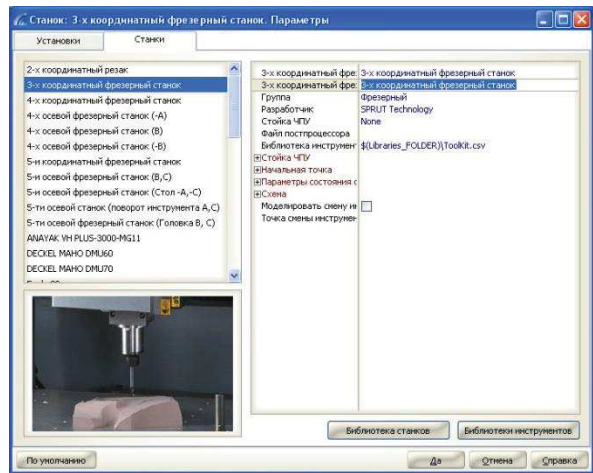


Рис.2. Вибір верстату для обробки

Обробку поверхні деталі будемо здійснювати послідовним виконанням чорнової та чистової операцій. Для задання нової операції в закладці «Технология» натискаємо кнопку «Новая». Відкриється діалогове вікно, в якому треба вибрати закладку «Черновая» і далі з списку вибрати вид чорнової операції – «Послойная». Заповнюємо поле коментаря до операції і натискаємо кнопку «Да» (рисунок 3).

В дереві проекту на гілці «Обработка» з'явиться новостворена операція. Для неї необхідно задати параметри. Після натискання кнопки «Параметры» відкриється діалогове вікно задання параметрів операції, яка проектується. Для задання інструменту для обробки вибираємо вкладку «Инструмент» і заносимо у відповідні поля значення діаметру, довжини циліндричної фрези і ін. параметри (рисунок 4).

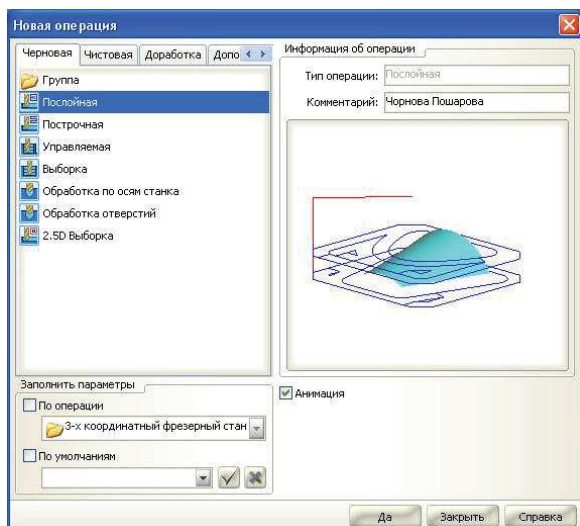


Рис.3. Вибір виду нової операції

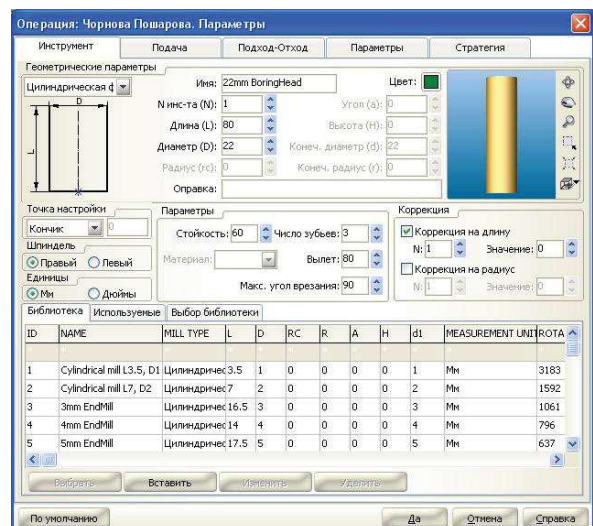


Рис.4. Задання інструменту у вікні параметрів чорнової операції

Для занесення подач, параметрів підходу та відходу інструмента, припусків та стратегії при чорновій обробці заповнюємо необхідні поля у відповідних закладках вікна параметрів операції (рисунок 5 - 8). Задаємо

поверхню, для якої буде проектуватись операція чорнової обробки. Для цього, розгорнувши в дереві проекту гілку чорнової операції, в пункті «Рабочее задание» задаємо зовнішню поверхню сухаря (рисунок 9).

Для розрахунку траєкторії руху інструмента на операції натискаємо кнопку «Пуск». Отриманий результат показано на рисунку 10.

Для візуальної перевірки результату спроектованої операції заходимо на вкладку «Моделирование». Заготовка до обробки зображена на рисунку 11. Стан заготовки після чорнової обробки показаний на рисунку 12. Для проектування операцій чистової обробки переходимо на вкладку «Технология» і натискаємо кнопку «Новая». У вікні, що відкрилося, вибираємо вкладку «Чистовая», а в списку видів операцій – «Комплексная». Задаємо коментар до операції, який буде відображатись в керуючій програмі як коментар, і натискаємо кнопку «Да» (рисунок 13).

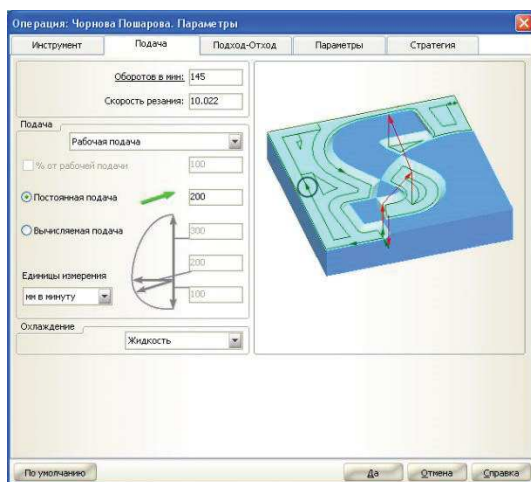


Рис.5. Задання подач у вікні параметрів чорнової операції

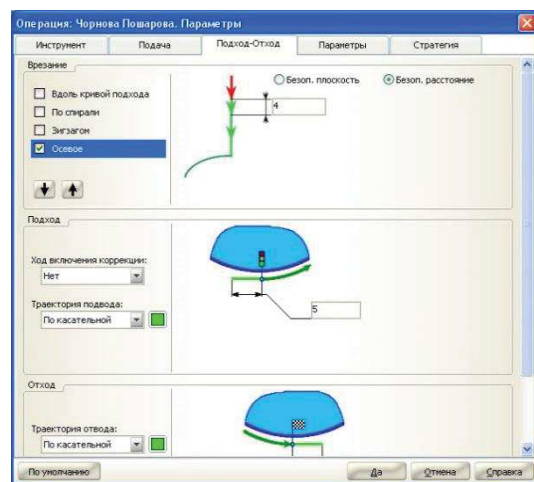


Рис.6. Задання параметрів підходу та відходу для чорнової операції

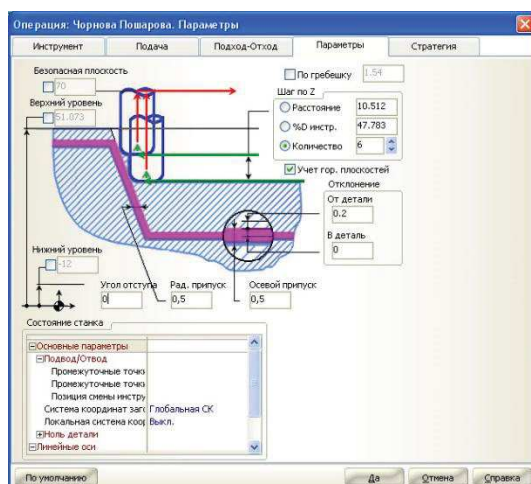


Рис.7. Задання геометричних параметрів виконання чорнової операції

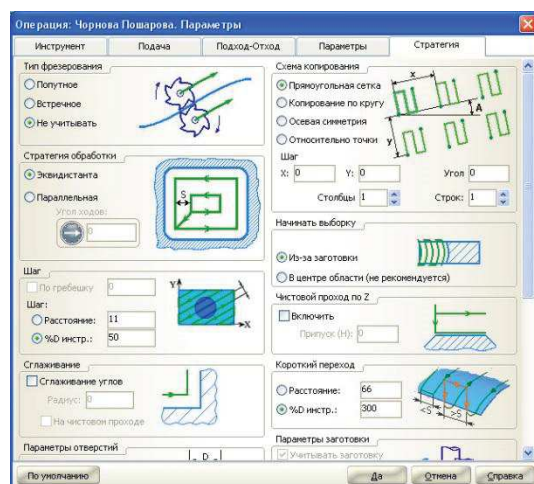


Рис.8. Задання елементів стратегії обробки для чорнової операції

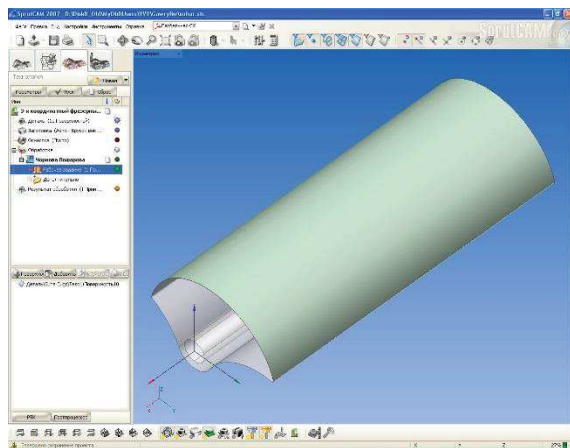


Рис.9. Задання оброблюваної поверхні для операції чорнової обробки

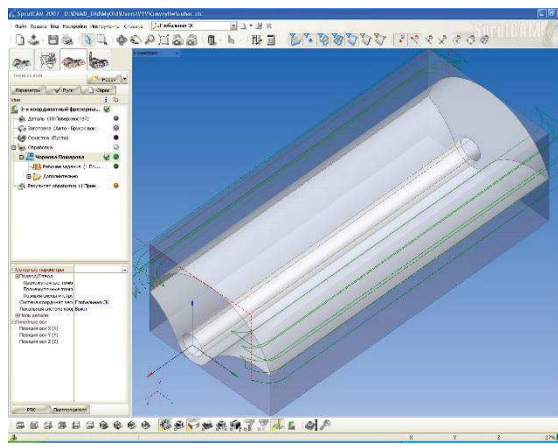


Рис.10. Траєкторія руху інструмента при чорновій обробці

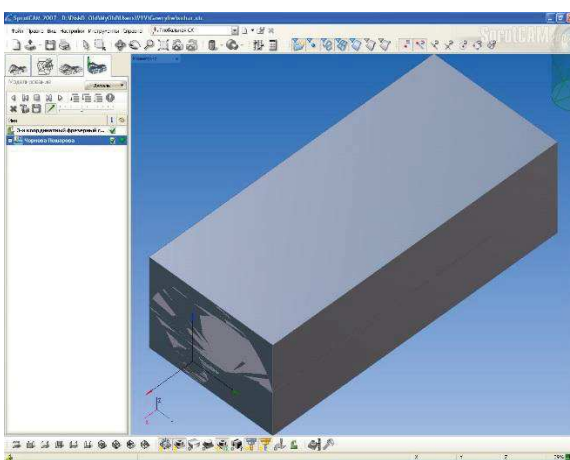


Рис.11. Заготовка перед моделюванням чорнової обробки

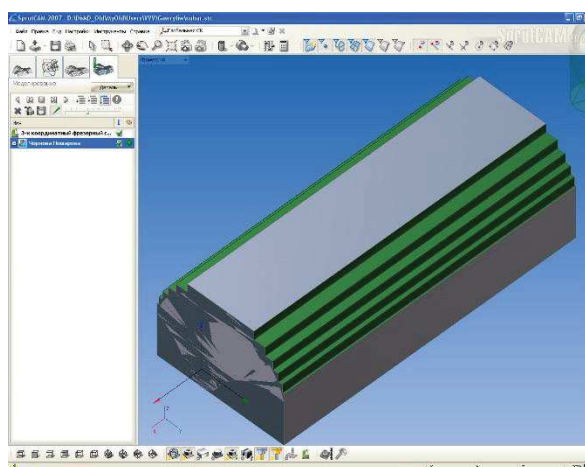


Рис.12. Результат моделювання чорнової обробки заготовки

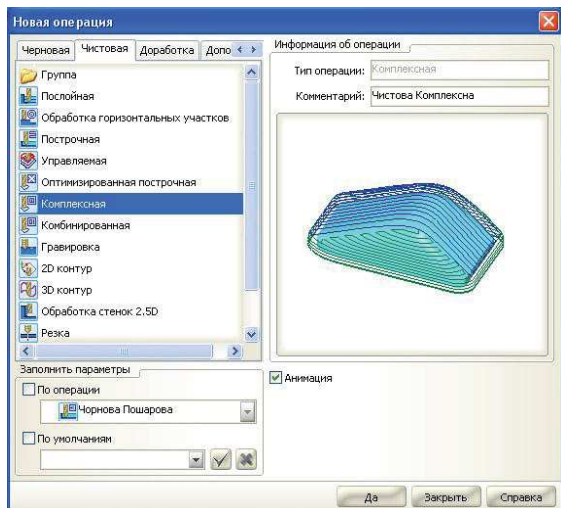


Рис.13. Вибір операції чистової обробки деталі

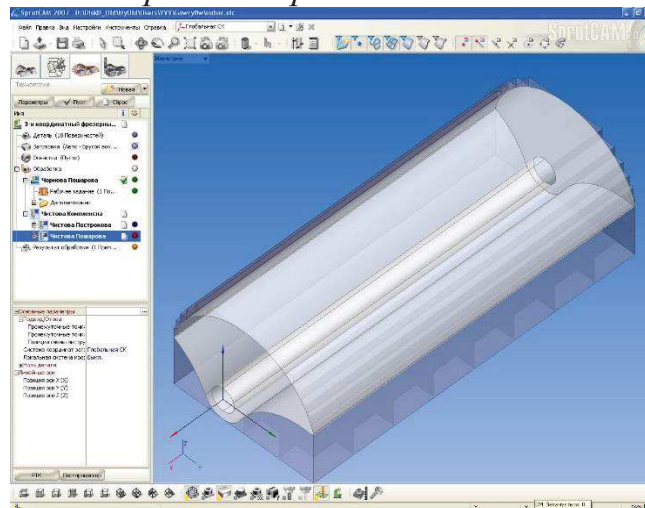


Рис.14. Проектування операції чистової обробки заготовки

У дереві проекту з'являється нова гілка, яка відповідає чистовій операції (рисунок 14). Вибравши необхідну операцію чистової обробки, натискаємо кнопку «Параметри» і у вікні, яке відкрилось, задаємо параметри цієї операції на відповідних вкладках вікна – «Інструмент», «Подача», «Підхід-Отход»,

«Параметры» та «Стратегия» (рисунки 15 – 20). Після того, як параметри чистових операцій задані, натискаємо кнопку «Пуск» і після розрахунку на екрані з'являється траєкторія руху інструмента при чистовій обробці деталі (рисунок 21). Вигляд деталі після моделювання чистової обробки показаний на рисунку 22.

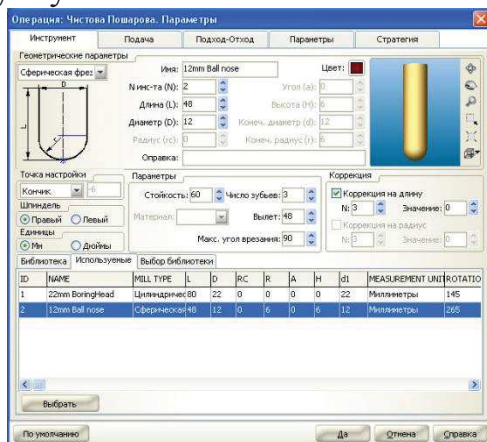


Рис.15. Задання інструменту для операції чистової обробки деталі

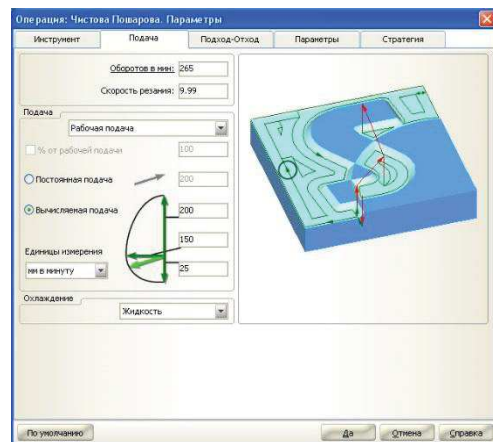


Рис.16. Задання подач для операції чистової обробки деталі

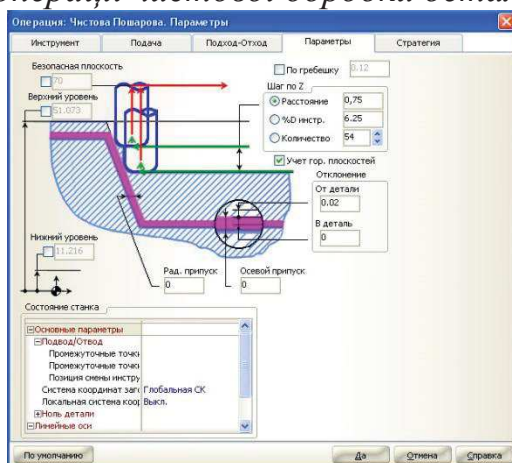


Рис.17. Задання параметрів для операції чистової обробки деталі

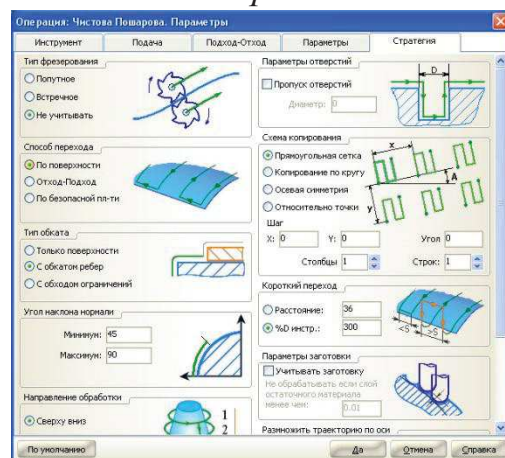


Рис.18. Задання стратегії операції чистової обробки деталі

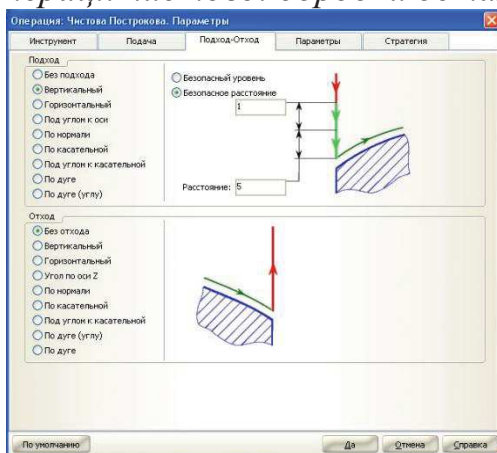


Рис.19. Задання параметрів підходу та відходу інструмента

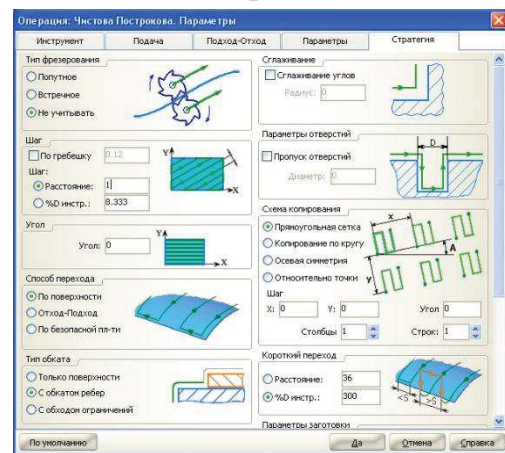


Рис.20. Задання стратегії для операції чистової обробки деталі

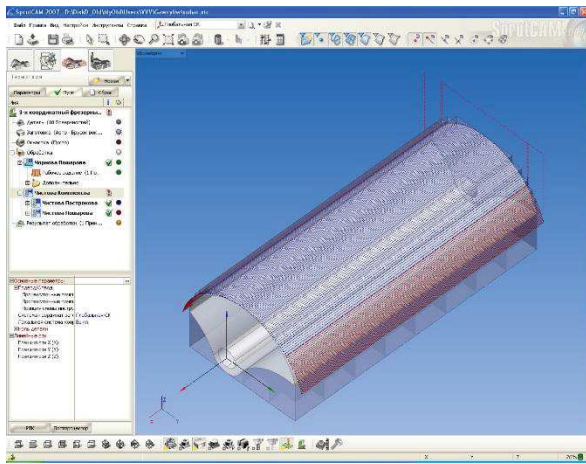


Рис.21. Траекторія руху інструмента на операції чистової обробки деталі

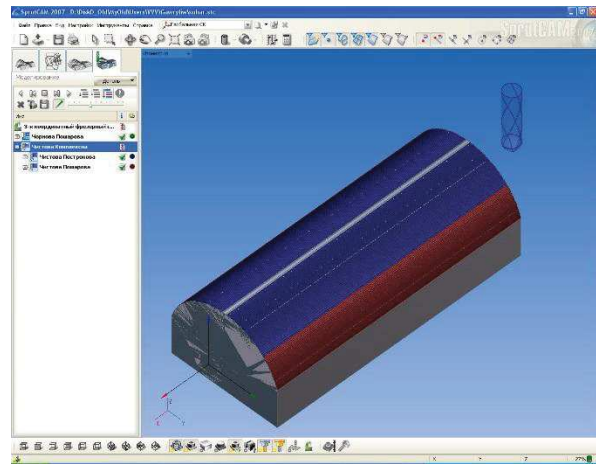


Рис.22. Результат моделювання операції чистової обробки деталі

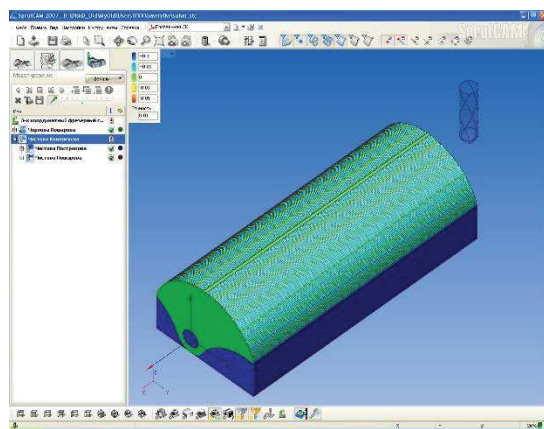


Рис.23. Перевірка точності отриманої поверхні після моделювання її чистової обробки

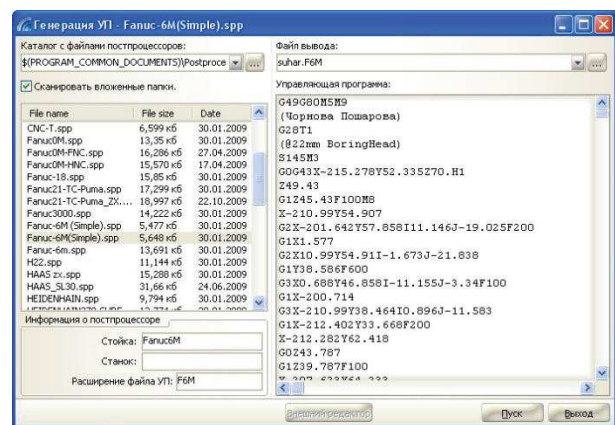


Рис.24. Генерація керуючої програми обробки заданої поверхні деталі на верстаті з ЧПК

Для перевірки точності поверхні, отриманої в процесі проектування обробки, натискаємо в нижній частині вікна програми кнопку «Сравнение результата обработки с деталью», і на екрані з'являється зображення деталі з виділеними різними кольорами відхиленнями. Для спроектованої нами обробки відхилення менші за 0,005мм (рисунок 23). Отже, проектування обробки виконано успішно і можна згенерувати керуючу програму для ЧПК. Для цього переходимо на вкладку «Технология» і натискаємо кнопку «Постпроцессор». У вікні, яке відкрилось, вибираємо постпроцесор Fanuc-6M і, задавши ім'я файла для виводу, натискаємо кнопку «Пуск» (рисунок 24).

Література:

1. Система разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Руководство пользователя SprutCAM 7. - Набережные Челны: ЗАО «Спрут-технология», 2011. – 779 с.

ПІДВИЩЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ПРИВОДУ ШТАМПУВАЛЬНОГО ПРЕСА

Гаврилів Ю.Л., *к.т.н., доцент*, Врюкало В.В., *к.т.н., доцент*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Під гідроприводом розуміють сукупність пристроїв (у число яких входить один або кілька об'ємних гідродвигунів), призначену для надавання руху механізмам і машинам за допомогою робочої рідини під тиском. В якості робочої рідини у верстатних гідроприводах використовується мінеральна олива. Широке використання гідроприводів у верстатобудуванні визначається насамперед можливістю одержання більших зусиль і потужностей при обмежених розмірах силових виконавчих двигунів. При русі мінеральної оливи по трубопроводах і каналах гідросистеми виникають втрати на тертя і об'ємні втрати, що знижують ККД гідроприводу й викликають розігрів робочої рідини, насосної установки і гідроагрегатів. Внутрішні об'ємні втрати у вузлах гідроприводу (з ліній високого тиску в лінії низького тиску) неминучі, тому що рухливі елементи (золотники, плунжери, клапани, поршні й т.п.) насосів, гідродвигунів і апаратів найчастіше ущільнюються за рахунок малих зазорів між поверхнями тертя. Однак, в допустимих межах ці перетікання рідини незначно знижують ККД і суттєво поліпшують умови змащування. Найбільшу небезпеку представляють зовнішні витікання, що приводять до підвищеної витрати масла й забрудненню робочого місця. Надійна робота верстатних гідроприводів може бути гарантована тільки при належній фільтрації робочої рідини. Необхідність застосування фільтрів тонкого очищення підвищує вартість гідроприводів й ускладнює їхнє технічне обслуговування, однак ці недоліки компенсуються значним ростом довговічності устаткування.

Принципова схема рідинного приводу представлена на рис.1. Особливістю даної схеми є те, що, гідродвигун виконаний як гідроциліндр з одностороннім штоком. Підчас руху поршня вправо (робочий хід) шток гідроциліндра виконує роботу з подолання робочого навантаження P зі швидкістю V . При русі вліво (холостий хід) поршень зі штоком повертаються в початкове положення, не виконуючи роботи, причому швидкість їх більша, ніж при робочому ході, за рахунок меншої ефективної площі поршня.

Дросель **6** встановлений на зливній лінії гідроприводу для регулювання швидкості поршня гідродвигуна. Витрата насоса при цьому не змінюється, а надлишок рідини (не виконавши ніякої корисної роботи) відводиться через клапан **5** в бак **7**. При чому на виході насоса утримується постійний тиск, який відповідає налаштуванню дроселя.

Для очистки оливи призначений фільтр **4**, встановлений на всмоктуючій лінії. Коли розподілювач **2** знаходиться в нейтральному положенні нагнітач **1** перекачує робочу рідину через фільтр **4**, розподілювач **2**, дросель **6** в гідробак **7**, оминаючи гідродвигун **3**. На напірній лінії встановлений запобіжний клапан **5**, який спрацьовує при заданому збільшенні тиску в гідродвигуні.

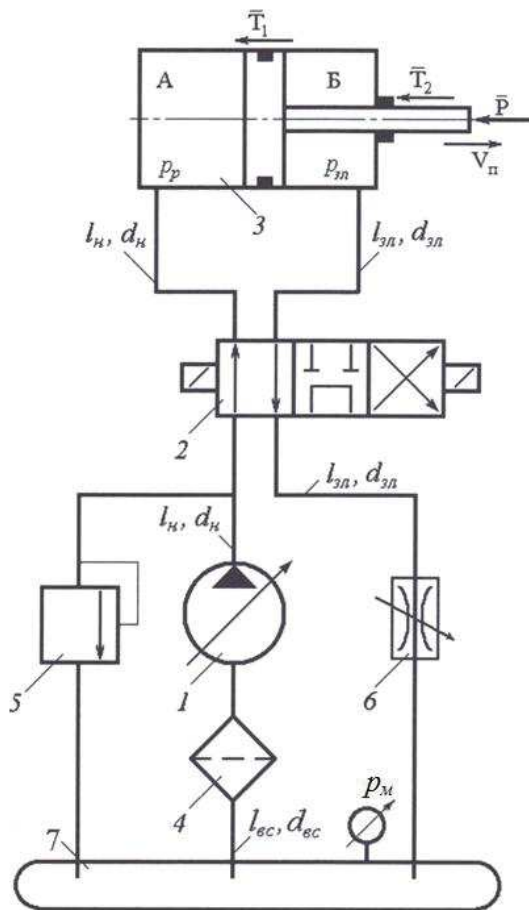


Рис.1. Схема гідроприводу штампувального преса
 1- нагнітач; 2 - розподільувач потоків; 3 - гідроциліндр; 4- фільтр;
 5 - клапан запобіжний; 6 - дросель; 7 - гідробак

Розподільувач потоків 2 - трипозиційний, чотирилінійний з управлінням від двох електромагнітів. Гідралічний бак 7, в якому підтримується надлишковий тиск p_m , виконаний у вигляді циліндра з двома напівсферичними боковими стінками.

Гідропривід працює наступним чином. Нагнітач 1 всмоктує оливу з гідробака 7 через фільтр 4 і перекачує її по нагнітальному трубопроводу l_H через розподільувач 2 до гідродвигуна 3 (в робочу камеру А). Гідродвигун 3 передає поступальний рух робочому органу, розташованому на кінці штока, і виштовхує робочу рідину з поржнин Б в зливний трубопровід. Далі олива по зливному трубопроводу l_{3n} через інші лінії розподільувача 2, дросель 6 повертається в гідробак 7.

Відомо, що коефіцієнт корисної дії гідроприводу дорівнює:

$$\eta = \frac{N}{N_H} \quad (1)$$

де N - корисна потужність гідроциліндра;

$$N = P \cdot v \quad (2)$$

P - корисне зусилля на штоці;

v - швидкість руху поршня.

$$v = \frac{4Q\eta_{об}}{\pi D^2} \quad (3)$$

Q - витрата насоса на гідроциліндр

D - діаметр поршня;

$\eta_{об}$ - об'ємний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра;

Потужність приводу насоса

$$N_H = \frac{Q \cdot p_H}{\eta_H} \quad (4)$$

З іншого боку, загальний к.к.д. гідроприводу дорівнює

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{об} \cdot \eta_{Г} \quad (5)$$

де η_H - коефіцієнт корисної дії насоса;

$\eta_{мех}$ - механічний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра;

$\eta_{Г}$ - гідравлічний коефіцієнт корисної дії гідросистеми.

Загальноприйнята формула для визначення гідравлічного коефіцієнта корисної дії гідросистеми має вигляд:

$$\eta_{Г} = \frac{p_H - \sum \Delta p_i}{p_H} \quad (6)$$

де $\sum \Delta p_i$ - сума втрат тиску в гідросистемі.

Покажемо, що для випадку гідроприводу поступального руху (рис.1) формула (6) потребує суттєвого уточнення.

Витрата насоса на гідроциліндр

$$Q = \frac{s \cdot n}{\eta_0} \cdot \left(\frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi d^2}{4} \right) = \frac{\pi \cdot s \cdot n}{2\eta_0} (D^2 - 0,5d^2)$$

де

d - діаметр штока;

n - число подвійних ходів штока;

s - довжина ходу поршня;

Витрата оливи в зливній лінії:

$$Q_{зл} = \left[\frac{(D^2 - d^2) \cdot \eta_0}{D^2} + (1 - \eta_0) \right] \cdot Q = Q \cdot \frac{D^2 - d^2 \eta_0}{D^2}$$

Втрати напору в трубах визначають за сумою втрат по довжині труб і втрат в місцевих опорах:

$$h = \left(\sum \zeta_i + \lambda \frac{\ell}{d} \right) \frac{v^2}{2g}$$

де ζ_i - коефіцієнт i -го місцевого опору;

λ - коефіцієнт гідравлічного тертя ;

v - швидкість руху масла.

Визначаємо втрати напору в нагнітальній лінії

$$h_n = \left(2 \cdot \zeta_n + \zeta_{mp} + \zeta_{pp} + \lambda_n \frac{\ell_n}{d_n} \right) \frac{v_n^2}{2g}$$

де ℓ_n = довжина нагнітальної лінії;

ζ_n - коефіцієнт опору плавного повороту труби на 90°

ζ_{mp} - коефіцієнт опору трійника при закритому відгалуженні;

ζ_{pp} - коефіцієнт опору раптового розширення при вході з трубопроводу в гідроциліндр

$$\zeta_{pp} = \left(1 - \frac{d_H^2}{D^2}\right)^2$$

Втрати тиску в напірній лінії

$$\Delta p_n = \rho g h_n$$

Аналогічно, втрати напору в зливній лінії:

$$h_{зл} = (\zeta_{pз} + 4\zeta_n + \zeta_{вих} + \lambda_{зл} \frac{\ell_{зл}}{d_{зл}}) \frac{v_{зл}^2}{2g}$$

$\ell_{зл}$ - довжина зливної лінії;

Коефіцієнт раптового звуження за формулою Ідельчика:

$$\zeta_{pз} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{d_{зл}^2}{D^2 - d^2}\right)$$

Коефіцієнт опору виходу масла з труби в гідробак:

$$\zeta_{вих} = 1,0$$

Втрати тиску в зливній лінії

$$\Delta p_{зл} = \rho g h_{зл}$$

Втрати напору і тиску у всмоктувальній лінії:

$$h_{BC} = \left(\zeta_{BK} + \lambda_{BC} \cdot \frac{\ell_{BC}}{d_{BC}}\right) \cdot \frac{v_{BC}^2}{2g}$$

$$\Delta p_{вс} = \rho g h_{вс}$$

Розглянемо рівняння рівноваги сил, діючих на робочі органи гідроциліндра (рис. 2) при рівномірному русі поршнів вправо (робочий хід):

$$P_A - P_B - T_1 - T_2 - P = 0$$

де $P_A = \frac{\pi D^2}{4} p_p$ - сила зі сторони робочої рідини, що діє на поршень в порожнині А;

$P_B = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p_{зл}$ - сила, що діє на поршень в порожнині Б;

Тиск в порожнині Б гідроциліндра:

$$p_{зл} = \Delta p_{p.зл} + \Delta p_{dp} + \Delta p_{зл} + p_m$$

Сили тертя в ущільненнях поршня і штока:

$$T_1 = \pi \cdot D \cdot b_1 \cdot f_1 \cdot (p_k \cdot i_1 + p_p);$$

$$T_2 = \pi \cdot d \cdot b_2 \cdot f_2 \cdot i_2 \cdot p_{зл}$$

Кількість чавунних кілець i_1 , а їх ширина b . Контактний тиск кілець на циліндр p_k , а коефіцієнт тертя f_1 .

Для штоків діаметром d кількість манжет за ГОСТ 22704-77 i_2 , а їх ширина b_2 . Коефіцієнт тертя гумових манжет f_2 .

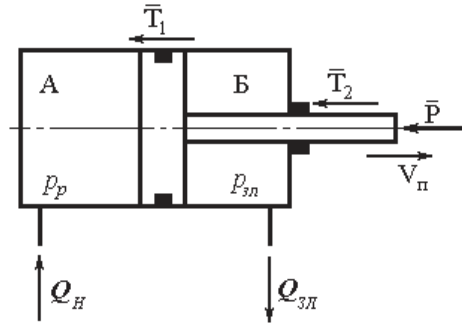


Рис.2. Схема гідроциліндру

$$p_p \frac{\pi D^2}{4} - p_{зл} \cdot \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} - \pi D b_1 f_1 (i_1 p_k + p_p) - \pi d b_2 f_2 i_2 p_{зл} - P = 0$$

Звідси тиск в порожнині А гідроциліндра:

$$p_p = \frac{P}{\pi} + \frac{p_{зл} \cdot \left(\frac{D^2 - d^2}{4} + d b_2 f_2 i_2 \right) + D b_1 f_1 i_1 p_k}{\frac{D^2}{4} - D b_1 f_1}$$

Механічний к.к.д. гідроциліндра:

$$\eta_m = \frac{4P}{\pi \cdot [D^2 p_p - (D^2 - d^2) \cdot p_{зл}]} \quad (7)$$

Тиск насоса:

$$p_n = p_p + \Delta p_{p,n} + \Delta p_n + \Delta p_{вс} - p_m \quad (8)$$

Після підстановки (2), (3), (4), (7), (8) в (1) отримуємо:

$$\eta = \frac{P \cdot 4Q \cdot \eta_{об} \cdot \eta_H}{\pi D^2 Q \cdot p_H} = \frac{[D^2 p_p - (D^2 - d^2) \cdot p_{зл}] \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{об} \cdot \eta_H}{D^2 p_H}$$

звідки

$$\eta_r = \frac{p_p - \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot p_{зл}}{p_H} = \frac{p_H - \Delta p_{p,n} - \Delta p_n - \Delta p_{вс} + p_m - \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot p_{зл}}{p_H}$$

або

$$\eta_r = 1 - \frac{\Delta p_{p,n} + \Delta p_{вс} + \Delta p_n + (\Delta p_{p,зл} + \Delta p_{dp} + \Delta p_{зл}) \cdot \frac{D^2 - d^2}{D^2} - p_m \cdot \frac{d^2}{D^2}}{p_H} \quad (9)$$

Аналізуючи рівняння (9), можна стверджувати наступне.

1. В гідроприводі поступального руху гідравлічний коефіцієнт корисної дії залежить не тільки від втрат енергії в трубопроводах та гідроапаратах, а й від різниці діаметрів поршня і штока гідроциліндра та надлишкового тиску в гідробаку.

2. Рівняння (6) є частковим випадком рівняння (9) при атмосферному тиску в гідробаку, рівності ефективних площ поршневої і штокової порожнин.

3. Підвищити гідравлічний к.к.д. гідроприводу можна за рахунок збільшення діаметру штока, вирівнювання ефективних площ поршневої та штокової порожнин (наприклад, використання поршня з двостороннім штоком), збільшення надлишкового тиску в гідробаку.

4. Вирівнювання ефективних площ поршневої та штокової порожнин нівелює вплив надлишкового тиску в гідробаку на гідравлічний к.к.д.

Література:

1. Вильнер Я.М. и др. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам.- Минск: Вышэйшая шк., 1976, - 416 с.

2. Богданович Л.Б. Гидравлические приводы: Учеб. пособие для вузов. – К.: Вища школа, 1980.- 232 с.

3. Абрамов Е.И. и др. Элементы гидропривода.- К.: Техніка, 1977.- 320 с.

РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ КУЛАЧКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДГВИНЧУВАННЯ ТРУБ

Гаврилів Ю.Л., к.т.н, доцент, Гаврилів С.Ю., аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Abaqus® - комп'ютеризована система скінченно-елементного аналізу (Finite Element Analysis - FEA) [1]. Abaqus реалізує ефективний чисельний метод розв'язування різноманітних задач механіки деформівного твердого тіла - метод скінченних елементів (МСЕ).

Метод скінченних елементів – один з чисельних методів, який на даний час широко використовується для розв'язування різних задач математичної фізики (задачі механіки деформівного твердого тіла, електромагнетизму, гідрогазодинаміки, термодинаміки та інші) [1].

Основна ідея методу скінченних елементів полягає в тому, щоб будь-яку неперервну величину апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на множині кусково-неперервних функцій, які визначені на скінченній кількості підобластей (елементів). Метод скінченних елементів є наближеним методом і вимагає оцінювання збіжності розв'язку до точного.

На практиці МСЕ може бути ефективно реалізованим у повністю автоматизованій програмі скінченно-елементного аналізу (Finite Element Analysis - FEA), в якій реалізуються всі етапи розрахунку конструкції, починаючи від формування сітки скінченних елементів та закінчуючи підрахунком напружень, деформацій і інших величин. Це, наприклад, відомі програми Ansys®, Nastran®, Abaqus®, а також модуль SolidWorks COSMOSWorks®.

Abaqus успішно конкурує з такими відомими програмами FEA, як Ansys®, Nastran®, Comsol®, Cosmos®. Основною перевагою, яка відрізняє його від

інших програм, є наявність інтерфейсу прикладного програмування (API) популярною мовою Python.

Тип нашої задачі - плоске напруження з врахуванням контактної взаємодії і пластичності матеріалу. Матеріал деталей - сталь. Модуль пружності - 2E11 Па, коефіцієнт Пуассона - 0,3. Залежність напруження-деформація для вибраної марки сталі показана в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність напруження-деформація

Напруження	Відносна пластична деформація
300 МПа	0
500 МПа	0,02
800 МПа	0,1

На рис.1 показані істинні діаграми деформування різних конструкційних сталей (пластична ділянка).

Коефіцієнт тертя контактних поверхонь - 0,1.

На рис. 2 показані параметричні ескізи для побудови деталей з'єднання. Значення вказаних розмірів можливо змінювати без необхідності перебудови ескізу в цілому.

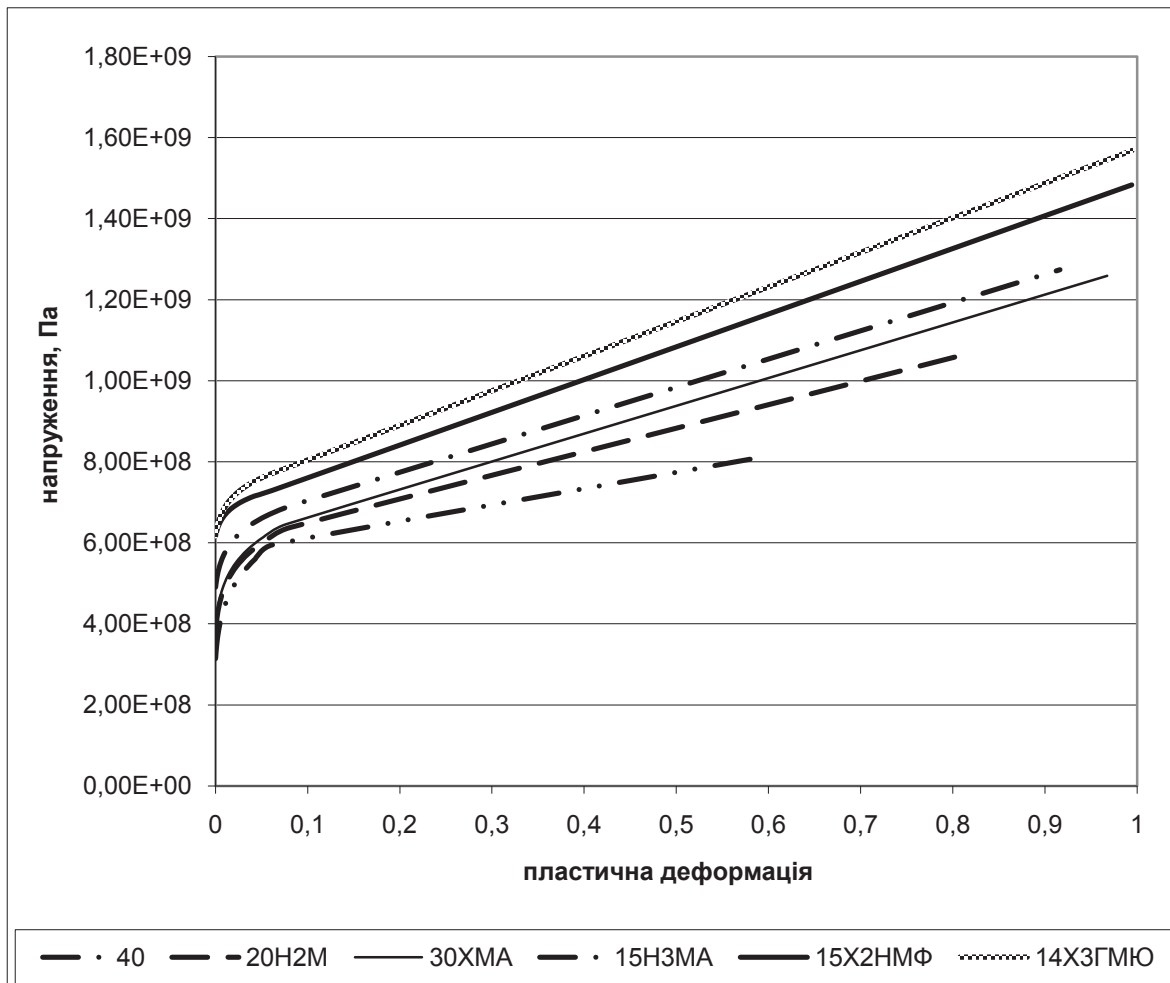


Рис.1. Істинні діаграми деформування конструкційних сталей

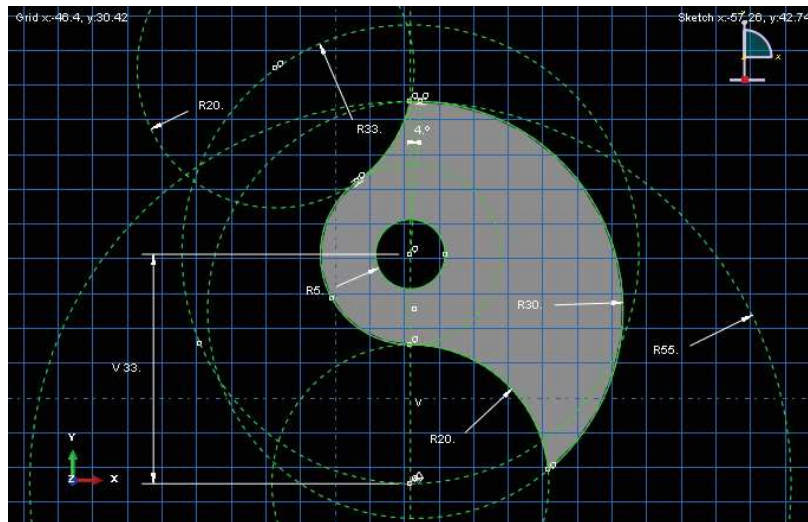
Граничні умови задані наступні:

1. Неможливість переміщення і повороту вузлів зовнішньої поверхні труби.

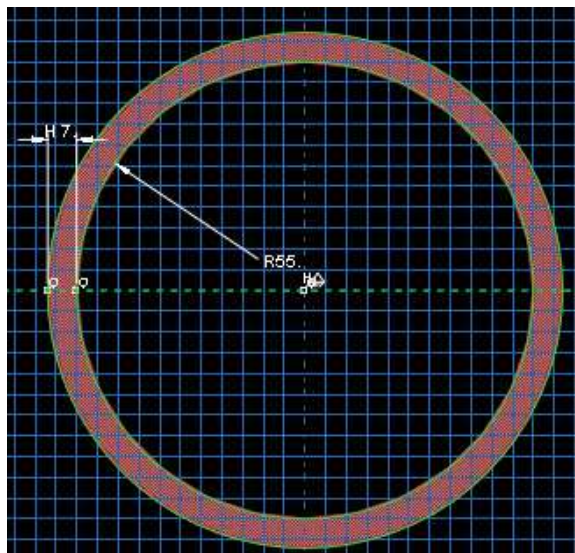
2. Неможливість переміщення центру осі.

3. Поворот центру осі на $0,3$ рад.

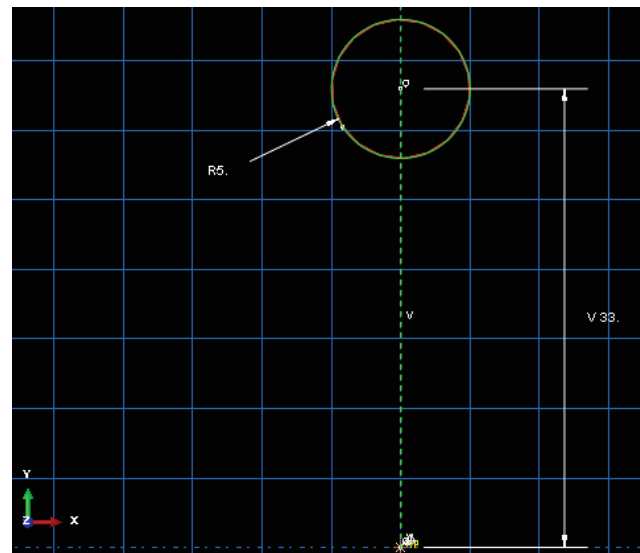
Сітку скінченних елементів слід зробити меншою на контактних поверхнях для підвищення точності результатів (рис. 3).



a



б



в

*Рис.2. Ескізи для побудови деталей з'єднання
а - ескіз для побудови кулачка, б - ескіз для побудови труби, в - ескіз для побудови осі*

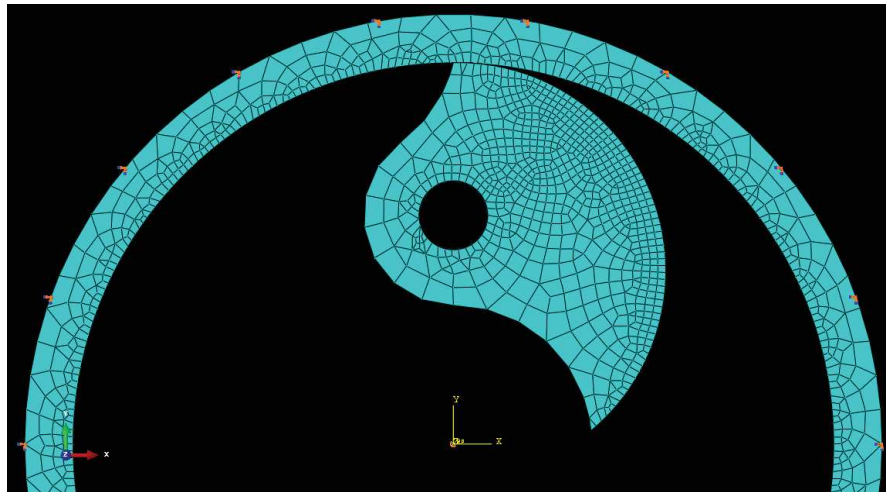


Рис.3. Сітка скінченних елементів

На рис 4. показані результати розрахунку.

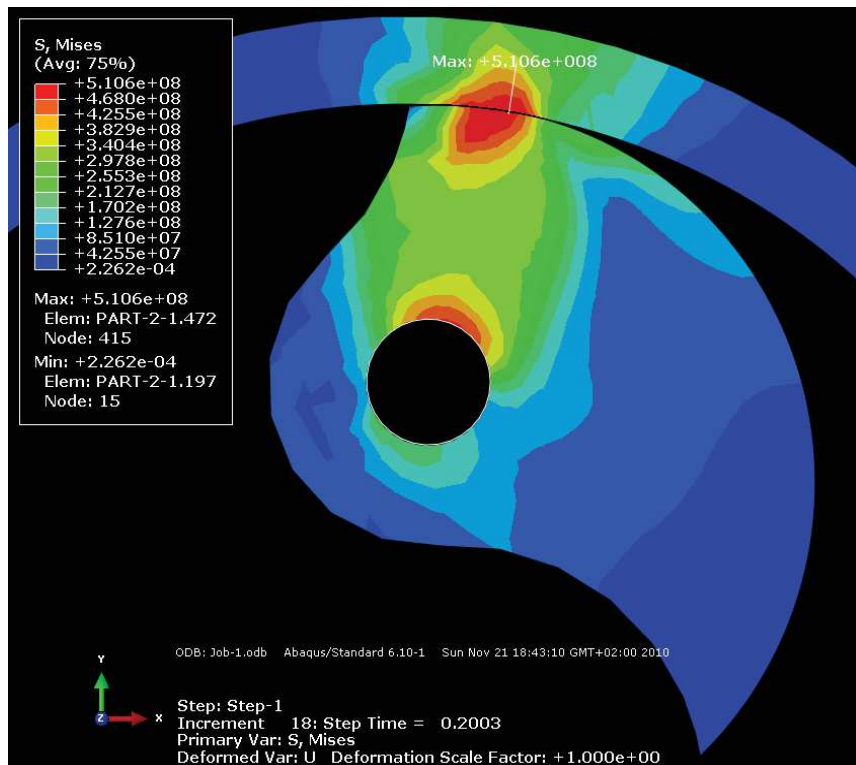


Рис.4. Еквівалентні напруження за критерієм Мізеса-Губера при куті повороту 0,06 рад

Література:

1. Манилык, Т. Практическое применение программного комплекса ABAQUS в инженерных задачах. Версия 6.5 / Тарас Манилык, Кирилл Ильин. — М.: МФТИ, ТЕСИС, 2006. — 67с.

УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ФІКСАЦІЇ ПРИБРОЇВ В ОБСАДНІЙ КОЛОНІ

Гаврилів Ю.Л., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Практично у всіх конструкціях пристроїв, призначених для перетворення правобічного обертання бурильної колони в лівобічне обертання ловильного інструменту, сила тиску фіксуючих елементів на стінки свердловини створюється або гідравлічним тиском промивної рідини, або осьовим навантаженням на колону з ловильним інструментом і не залежить від прикладеного до колони крутного моменту. Тому в деяких випадках (при необхідності прикладання великих крутних моментів) такі схеми не забезпечують надійної фіксації пристроїв у стовбурі свердловини.

У спроектованому пристрої фіксуючі елементи (рис. 1) мають вигляд сухарів. Початкове зусилля на сухарі 1 передається від осьового навантаження ловильної колони при досягненні інструментом голови обриву аварійних труб. При цьому сухарі входять в зачеплення зі стінками обсадної колони, забезпечуючи початковий затиск. При обертанні колони крутний момент передається на водило і сухарі ще більше притискаються до обсадної колони затискним профілем 2.

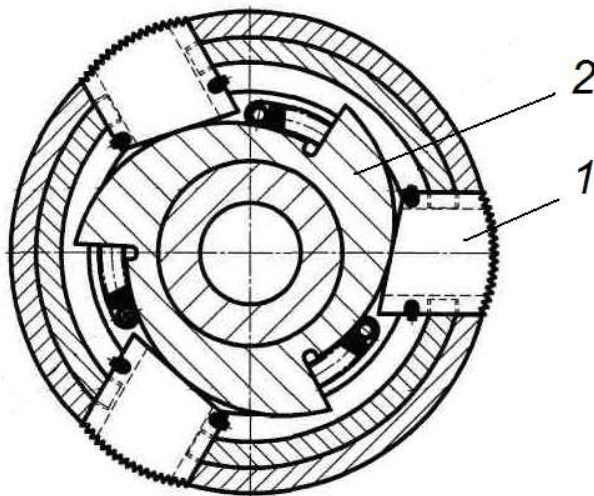


Рис.1. Фіксуючі елементи в пристрої

Тиск на стінки залежить від необхідного крутного моменту: чим більший крутний момент прикладається до колони, тим на більший кут повернеться затискний профіль і тим надійніше буде зафіксовано корпус редуктора.

Форма затискного профілю відіграє важливу роль у роботі редуктора, оскільки від неї залежить надійність фіксації редуктора у свердловині. Побудову профілю проводимо згідно методики [1]. Розрахунок геометричних параметрів проведемо за допомогою ЕОМ (пакет MathCAD).

Для обсадної труби діаметром 190 мм і крутному моменті на ловильному інструменті 5 кН·м розрахунки мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 D &:= 190 & \phi 1 &:= 12 \cdot \frac{\pi}{180} & M &:= 5 \cdot 10^3 \\
 R &:= \frac{D}{2} & \phi 2 &:= 6 \cdot \frac{\pi}{180} \\
 d &:= 90 & \alpha &:= 5 \cdot \frac{\pi}{180} \\
 r &:= \frac{d}{2} & \Delta &:= 10 \\
 & & k &:= 10
 \end{aligned}$$

$$b := R - r - \Delta - k$$

$$b = 30$$

$$TD_{H14} := 50$$

$$R_{min} := R \quad R_{min} = 95$$

$$R_{max} := R + \frac{TD_{H14}}{2} \quad R_{max} = 120$$

$$r_{max} := R_{max} + \frac{b \cdot \phi 2}{\alpha} \quad r_{max} = 156$$

$$r_{min} := R_{min} + \frac{b \cdot \phi 2}{\alpha} \quad r_{min} = 131$$

$$\beta := \frac{2.3 \cdot \log\left(\frac{r_{max}}{r_{min}}\right)}{\alpha} \quad \beta \cdot \frac{180}{\pi} = 114.545$$

$$\gamma := 120 - \beta \cdot \frac{180}{\pi} \quad \gamma = 5.455$$

$$W := \frac{2 \cdot M \cdot 10}{3 \cdot D \cdot \tan(\alpha + \phi 2)} \quad W = 902.553$$

Внаслідок великої площі контакту сухарів зі стінками колони тиск на стінки порівняно невеликий і не пошкоджує колону обсадних труб. Пристрій можна застосовувати у обсадних трубах різних діаметрів шляхом встановлення відповідних насадок на сухарі за допомогою пазів типу «ластівчин хвіст». Для забезпечення надійного зчеплення зі стінками обсадної колони на сухарях на поверхні контакту з буровою колоною виконане поздовжнє рифлення.

При графічній побудові профілю спочатку проводимо коло з радіусом, який рівний зовнішньому радіусу водила. Проводимо також три допоміжні лінії, розміщені одна відносно одної під кутом 120°, оскільки пристрій матиме три сухарі. Для побудови реального профілю спочатку будемо теоретичний

профіль. Реальний профіль одержується як еквідистанта до теоретичного профілю. Теоретичний профіль викреслюється по логарифмічній кривій, оскільки це єдина крива, яка має постійний кут підйому. Для полегшення виготовлення, а також щоб забезпечити контакт сухаря і профілю у всіх точках, логарифмічну криву досить точно можна замінити дугою. Центр дуги визначаємо наступною графічною побудовою. На початку будуємо кола з радіусами, які рівні мінімальному і максимальному радіусам кривизни теоретичного профілю. Далі від допоміжної лінії відкладаємо кут β , що рівний куту повороту затискного профілю для переходу від затиску у трубі мінімального до максимального радіуса. Центр дуги, що замінить логарифмічну криву, знаходитиметься на перетині двох перпендикулярів, один з яких проведений до бісектриси кута, а інший проведений через середину прямої, що проведена через точки перетину променів, які утворюють кут β і кіл з радіусами, рівними максимальному і мінімальному радіусам кривизни теоретичного профілю. Реальний профіль викреслюємо як еквідистанту до теоретичного профілю з початком у точці перетину другої допоміжної прямої і кола, проведене з урахуванням глибини фаски для виходу інструменту.

Ширину сухаря визначаємо як основу рівнобедреного трикутника, з двома сторонами, рівними радіусу кривизни реального профілю у точці затиску в трубі з мінімальним радіусом, і кутом при вершині $\gamma = 120^\circ - \beta$. Графічна побудова приведена на рис. 2.

Кривизна профілю сухаря виконується такого ж радіусу, що і кривизна затискного профілю. Мінімальний і максимальний радіуси кривизни профілю вибирають так, щоб при ковзанні по поверхні затискного профілю сухар повертався на найменший кут.

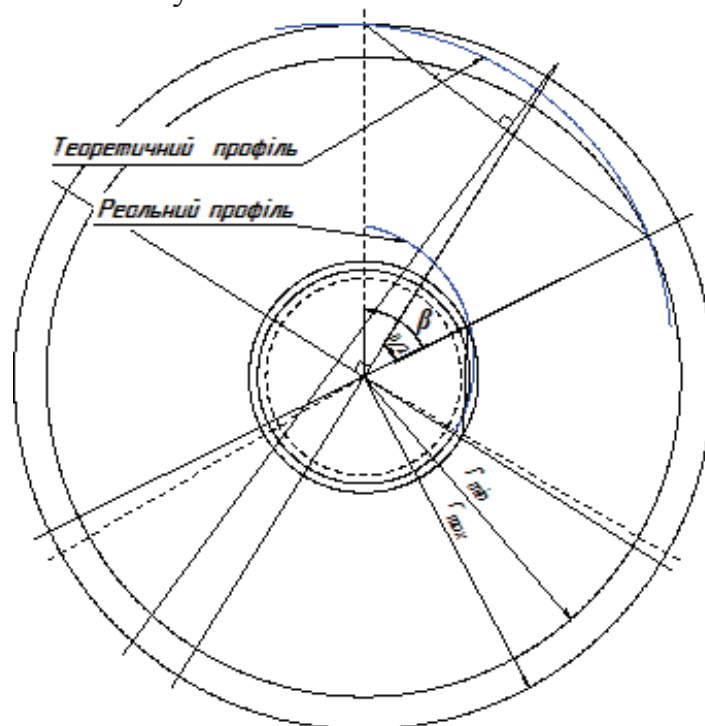


Рис. 2. Побудова затискного профілю

Проте якщо профіль сухаря виконати таким чином, то при попаданні твердих частинок між сухар і затискний профіль можливе заклинювання. Можливі варіанти профілю сухаря показані на рис. 3.

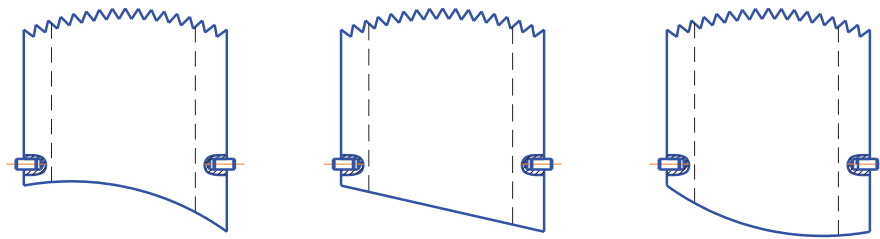


Рис. 3. Можливі варіанти виконання профілю сухаря

Література:

1. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков.– М.: Машиностроение, 1987.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ НАПІВКРУТЛОГО ПРОФІЛЮ ГОЛОВКИ ГАЛЬМІВНОГО ЕЛЕМЕНТА ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ФРЕЗОЮ

Гевко Б.М., *д.т.н., проф.*, Лещук Р.Я., *к.т.н., доцент*, Босюк П.В. *асистент*
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Муфти входять до складу більшості сільськогосподарських агрегатів та механізмів і мають значний вплив на їх експлуатаційні і технічні характеристики. При проектуванні нових конструкцій муфт постійною є проблема вибору їх оптимальних параметрів в залежності від їх співвідношення, умов експлуатації, бажаних функціональних характеристик та багатьох інших факторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання визначень взаємозалежностей конструктивно-силових параметрів обгінних муфт розглянуті у працях В.С. Полякова, І.Д. Барбаша, В.О. Малащенко, В.Т. Павлище. Проте, розрахунок кожного пристрою має свою специфіку, оскільки кожна із конструкцій характеризується наявністю тих чи інших конструктивних елементів, які впливають на характер їх спрацювання.

Метою даної роботи є розробка основних конструктивно-силових параметрів пари контакту розробленого пристрою.

Пристрій для виготовлення гальмівних елементів приводів машин призначений для його використання на зубофре-зерному верстаті і він виконаний у вигляді вертикальної підставки, якою він встановлюється на стіл зубофрезерного верстату (рис.1). Він виконаний у вигляді горизонтальної круглої площадки 1 у вигляді касети, піднятої над столом верстата на 300 мм, в якій зверху рівномірно по колу виконано 20 гнізд 2 у вигляді уявної зірочки, в

якій встановлені заготовки 3 по 10 штук в сектор зліва і по 10 штук в сектор справа у вигляді уявної зірочки з 20 зубами, базуючи заготовки 3 на штифти 4 по технологічних отворах 5, виконаних на кожну заготовку, які жорстко закріплені в кожному гнізді і 5 заготовки з ділильним діаметром $203,2$ мм і приблизним модулем $m=10$ мм і зовнішнім діаметром $D_3=213,58$ мм, з послідовним їх переустановленням по 10 штук, як симетричних деталей черв'ячною фрезою 6.

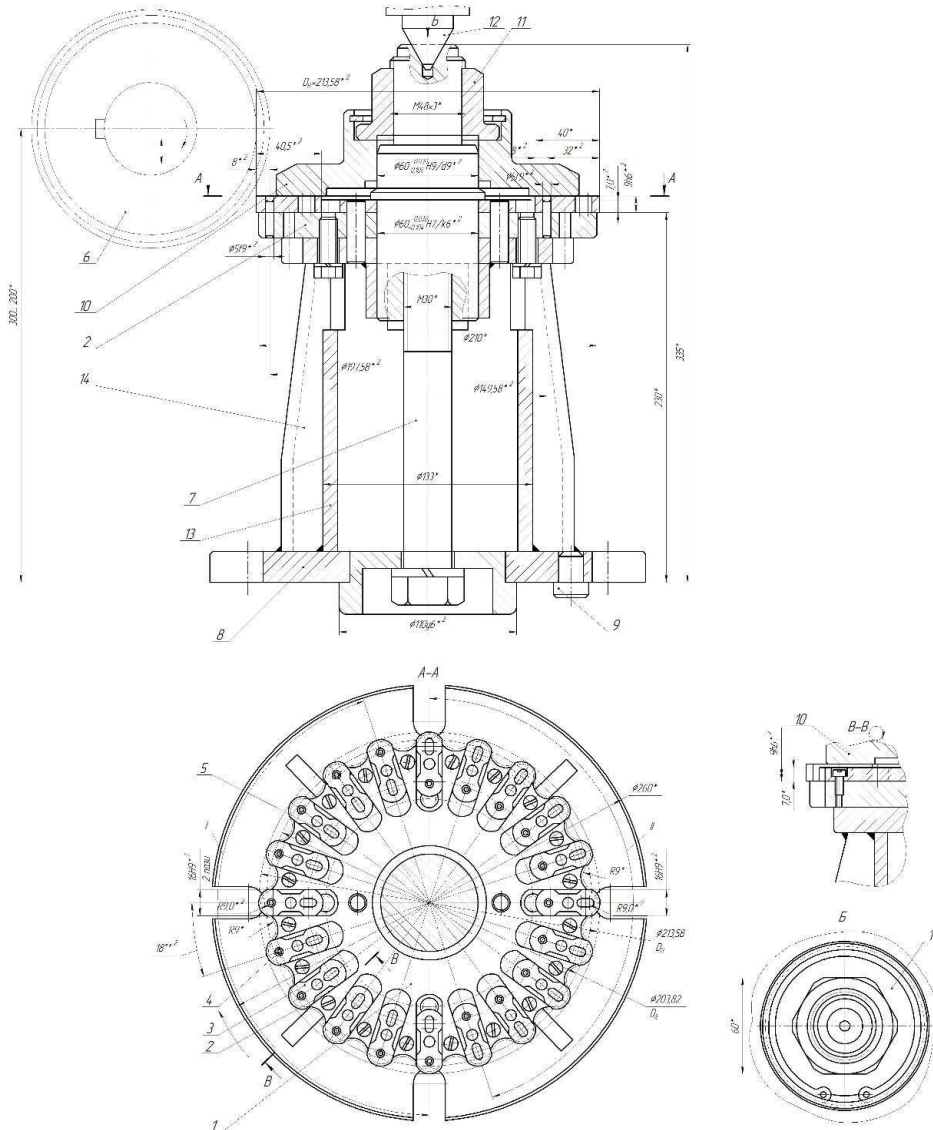


Рис. 1 - пристрій для виготовлення гальмівних елементів приводів машин на зубофрезерному верстаті

Зверху заготовки 3 підтискуються притискним диском 10, який внутрішнім отвором встановлено на оправку 7, і який підтискується гайкою 11 відомим способом і центрується центром 12 верстату. Зовнішній діаметр притискного диска становить $193,58$ мм. Для формоутворення гальмівних елементів використовують черв'ячну фрезу 13 з підібраними параметрами гітари диференціала верстату.

Процес формоутворення головки заготовки триває від моменту входження у зачеплення із фрезою до моменту виходу приблизно на протязі 2.. 3 кроків фрези. Це визначає довжину черв'ячної фрези, не меншу, ніж 3 кроки виступів. Осьовий крок фрези розраховується по залежності:

$$t = \frac{R\alpha_1}{\cos\gamma}, \quad (1)$$

де α_1 - кут між заготовками, виміряний на ділильному радіусі утримуючого пристрою, $\alpha_1 = 2\pi/n$; n - кількість місць для заготовок на пристрої; γ - кут підйому гвинтової лінії черв'ячної фрези, визначається із співвідношення

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{t}{\pi D_f}, \quad (2)$$

де D_f - діаметр фрези в точці, що співпадає з ділильним радіусом пристрою.

Звідки після підстановки отримаємо значення кроку фрези в осьовому напрямку:

$$t = \frac{\pi D_f R \alpha_1}{\sqrt{(\pi D_f)^2 - (R \alpha_1)^2}}. \quad (3)$$

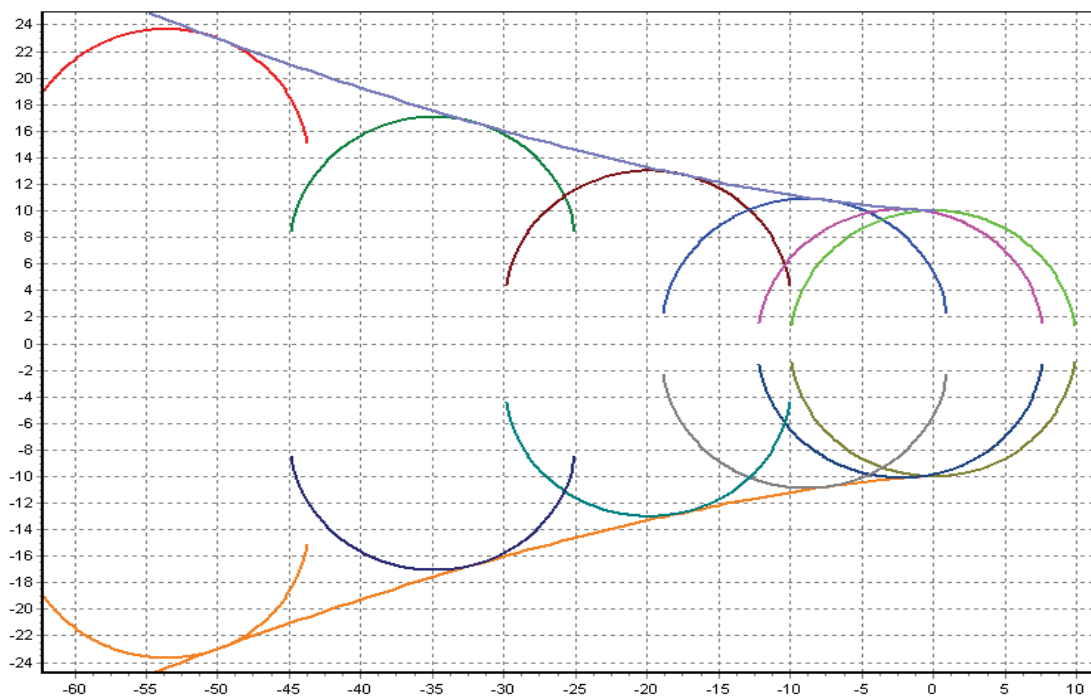


Рис. 2. Розрахунковий профіль черв'ячної фрези для нарізання головки діаметром 10 мм на пристрої з ділильним радіусом 200 мм.

Під час фрезерування вісь фрези необхідно встановити під кутом γ до площини фрезерування (2), при цьому дійсний крок фрезерування становитиме $R\alpha_1$, і профіль канавки фрези в цьому положенні повинен відповідати розрахунковому. З метою числового аналізу отриманих залежностей створена програма для розрахунку координат профіля черв'ячної фрези у середовищі Delphi. Результат розрахунку подано у графічному виді на рис. 2.

НАВИВАННЯ СПІРАЛЕЙ ШНЕКІВ ОБЕРТОВОЮ ВТУЛКОЮ

Гевко Ів.Б., д.т.н., проф., Гудь В.З., к.т.н., Круглик О.А., аспірант
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Ефективність розвитку економіки напряму пов'язана із розвитком машинобудування та впровадженням прогресивних технологій, які забезпечують постійний прогрес суспільства і сприяють зростанню продуктивності й ефективності виробництва. Гвинтові елементи є одними з розповсюджених деталей у різних типах машин і механізмів, а тому їх створенню приділяється особлива увага [1]. Найбільш ефективним і, відповідно, найпоширенішим способом їх виготовлення, є навивання, яке виконується по внутрішній поверхні спіралі. В результаті проведеного дослідження [2] встановлено, що навивання спіралей шнеків може здійснюватись чотирма основними способами при використанні наступного формувального інструменту: оправа і ролик (класичні варіанти); оправа і обертова формувальна втулка; ролик і обертова формувальна втулка; оправа, ролик і обертова формувальна втулка. На основі проведених синтезів отримано значну кількість раціональних способів навивання спіралей шнеків [2, 3], а також розроблено технологічний процес їх навивання по зовнішній поверхні.

На рис.1 представлено пристрій для навивання спіралей шнеків по зовнішній поверхні обертовою втулкою. Він виконаний у вигляді оправки 2, на якій розташовані права 6 і ліва 3 косі втулки з можливістю колового і осьового зміщення. На лівому кінці правої косої втулки 6 всередині виконано осьовий паз 5, який є у взаємодії з Г-подібним кінцем смуги 12 для навивання гвинтової спіралі. Правий торець правої косої втулки 6 підтиснутий через шайбу 7 пружиною стиснення 8, затиск якої регулюється гайками 9. Ліва коса втулка 3 виконана ступінчатою і її тонша ліва частина жорстко кріпиться в патроні 1 токарного верстату. Лівий кінець оправки 2 закріплено до пневмоциліндра з можливістю колового і осьового зміщення відомим способом (на кресленні не показано). У лівому кінці пустотілої обертової формувальної втулки 4 закріплено притискну втулку з напрямним роликом 11. Пустотілу обертову формувальну втулку 4 жорстко закріплено у супорті верстату 10.

Технологічний процес навивання спіралей шнеків з використанням даного пристрою полягає у наступному. Ліва коса втулка 3 разом з оправкою 2 лівим кінцем жорстко встановлюється в трьохкулачковому патроні 1. Лівий кінець оправки 2 закріплюється до пневмоциліндра з можливістю колового і осьового зміщення відомим способом (на кресленні не показано). Пустотілу обертову формувальну втулку 4 жорстко закріплюють в супорті верстату 10. В зазор між лівою косою втулкою 3 і правою косою втулкою 6 вставляють смугу 12 для навивання гвинтової спіралі, а її правий Г-подібний кінець встановлюють у внутрішній осьовий паз 5 правої косої втулки 6. Після цих підготовчих операцій включають привід верстату і патрон 1 із оправкою 2 провертається і при цьому починає здійснюватися технологічний процес формоутворення гвинтової спіралі зі смуги 12 пустотілою обертовою формувальною втулкою 4.

В процесі формоутворення гвинтової спіралі права коса втулка 6 переміщується в осьовому напрямку вправо, стискаючи пружину стиснення 8. Після завершення процесу навивання спіралі верстат зупиняється, включають пневмоциліндр (на кресленні не показано) і оправка 2 зміщується в осьовому напрямку вправо, розтискаючи пружину стиснення 8. Далі пристрій знімають з верстату, ліву косу втулку 3 знімають з оправки 2 і, відповідно, знімають навиту спіраль.

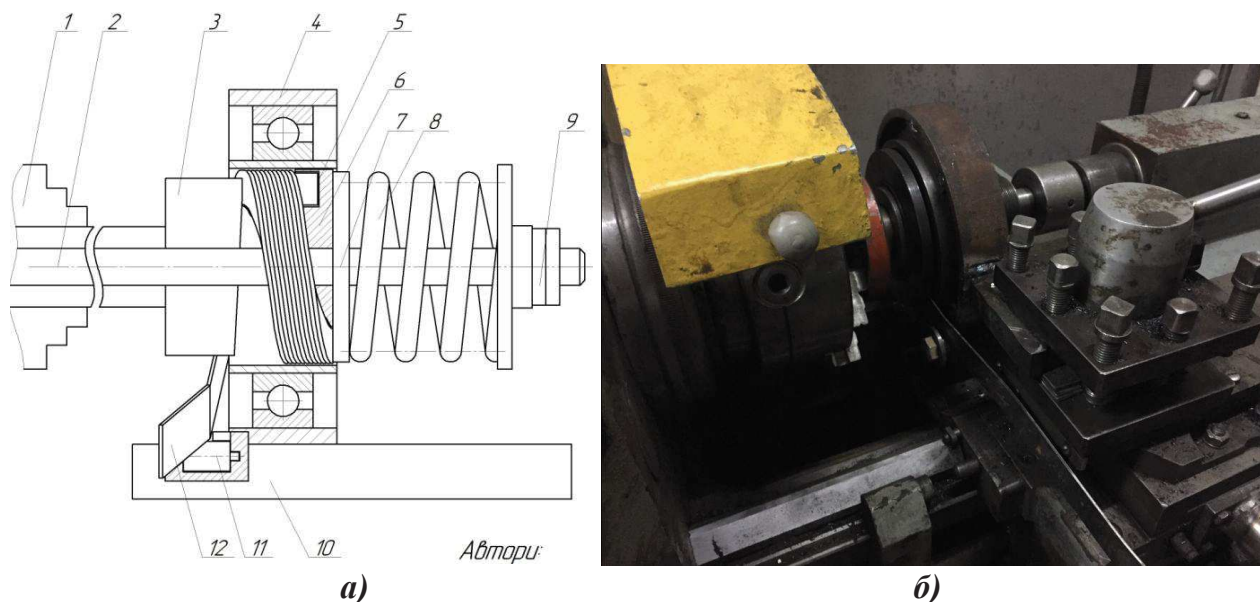


Рис.1. Пристрій для навивання спіралей шнеків обертовою втулкою:
а) конструктивна схема; б) загальний вигляд процесу навивання

Для апробації розробленого способу навивання нами розроблено і виготовлено спеціальний пристрій для навивання спіралей шнеків обертовою втулкою на токарному верстаті. На даний час проведено ряд експериментальних досліджень з навивання спіралей шнеків з використанням даної технології їх навивання по зовнішній поверхні. Проведені експериментальні дослідження показали дієвість та ефективність розробленого способу навивання спіралей шнеків і необхідність у подальших дослідженнях даної технології.

Література:

1. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / [Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко та ін.]. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367 с.
2. Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Круглик О.А. Синтез способів навивання спіралей шнеків [Текст] / Ів.Б. Гевко, В.З. Гудь, О.А. Круглик // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Випуск 12, ЛНТУ. Луцьк, 2018, С. 39-47.
3. Гевко Ів. Синтез способів навивання гвинтових заготовок [Текст] / Ів. Гевко, О. Катрич // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2015. – Том 80. – № 4. – Ст. 153-160.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ КАНАТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Гелетій В. М., *к.т.н, доцент*, Ланець О.В. *к.т.н*
Національний університет «Львівська політехніка»

Механічні системи з канатними елементами, такі як вантажопідіймальні машини або канатні транспортуючі системи, використовують для підвищення ефективності технологічних операцій вібрацію (коливання) окремих елементів. При цьому коливальні процеси інших елементів системи, таких, наприклад, як місце оператора вимагають мінімізації. Вирішення таких задач вимагає розроблення адекватних динамічних моделей таких систем.

У багатьох випадках математичні моделі динамічних процесів таких механічних систем адекватно описуються лінійними диференціальними рівняннями виду

$$A\ddot{Y} + B\dot{Y} + CY = F,$$

де A , C , B , – матриці інерційних і квазіпружних коефіцієнтів, а також коефіцієнтів в'язкого опору, а Y і F – відповідно вектори-стовбці узагальнених координат і узагальнених сил. Задача визначення цих параметрів і комп'ютерного моделювання динамічних процесів механічних систем з канатними елементами вирішується для кожної механічної системи індивідуально і не може бути повністю формалізованою. Пропонуються певні уніфіковані алгоритми визначення елементів матриць A , C , B , F на прикладах канатних систем вантажопідіймальних і транспортуючих машин [2].

Однак такі рівняння руху не можуть розглядатися як рівняння малих коливань, так як узагальнені координати, пов'язані, наприклад, з кутом повороту барабана приводу або переміщенням візка, визначають рух приводів цих механізмів як жорсткого цілого і, зрозуміло, не можуть розглядатися як малі переміщення. Наявність такої квазіциклічної координати пов'язане з появою нульової власної частоти коливання системи. При цьому у динамічних розрахунках найбільший інтерес становлять саме нециклічні (позиційні) координати, які визначають зусилля в пружних ланках. З рівнянь руху можна виключити циклічні координати. Для механічних систем, що розглядаються, пропонується загальний алгоритм виключення квазіциклічних координат шляхом певних перетворень рівнянь руху [1]. Наведені порівняльні приклади динамічного аналізу при наявності циклічної координати і при її виключенні, а також оцінка похибки використання традиційних спрощених підходів у порівнянні з точним розв'язком.

Природа сил опору, які викликають розсіяння енергії при коливаннях, досить складна. В основному - це конструктивне демпфування, причому найбільше поглинання коливальної енергії проходить в канатах і опорних елементах. Оцінка розсіяння енергії в подібних елементах отримана експериментальним шляхом. Встановлено, що їх поглинальні властивості практично не залежать від частоти коливань. Тому для кількісної оцінки

інтенсивності демпфування використовують коефіцієнт поглинання ψ або зв'язаний з ним логарифмічний декримент коливань δ . Представлено метод визначення параметрів демпфування дискретних моделей таких систем і енергетично еквівалентного приведення їх до в'язкого тертя. Це дозволяє досліджувати можливості ефективного гасіння коливань окремих елементів механічної системи, таких, наприклад, як місце оператора, шляхом встановлення у відповідних місцях демпферів.

Розглянуті також питання використання додаткових пристроїв для активації вібрацій для забезпечення більшої ефективності транспортування вантажів канатними системами. Один із запропонованих варіантів ексцентрикового активатора вібрацій показаний на рис. 1. Він включає кінцевий блок канатної системи діаметром D , рядну зубчасту передачу і ексцентрично закріпленій тяговий канат, що переміщує вантаж масою m .

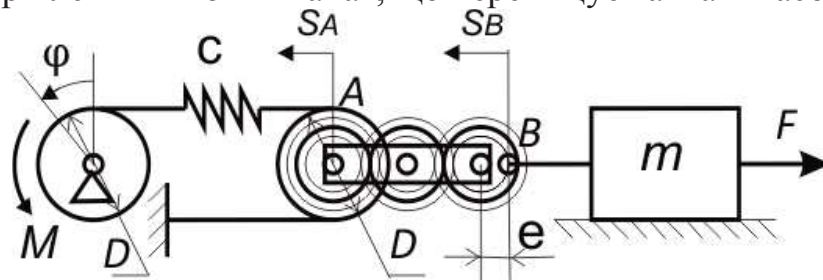


Рис.1. Канатна система з ексцентриковим активатором вібрацій

Кінематичне віброзбудження забезпечується різницею переміщень точок A і B

$$S_B - S_A = e \cdot \cos(S_A/D \cdot i),$$

де i – передаточне число рядної зубчастої передачі, яке впливає на частоту кінематичного віброзбудження.

Прийнявши за узагальнені координати канатної механічної системи (рис.1) кут повороту барабана лебідки φ і переміщення вантажу S_B одержимо вираз потенціальної енергії деформації каната жорсткістю c

$$\Pi = c \cdot [\varphi \cdot D/2 - (S_B - e \cdot \cos(\varphi \cdot i))/2]^2/2.$$

Після підстановки в рівняння Лагранжа 2-го роду одержуємо диференціальні рівняння руху системи, аналіз розв'язку яких дозволяє оцінювати ефективність даного активатора вібрацій. У випадку більш складнішої природи сили опору F , пов'язаної з тертям при транспортуванні вантажу, має місце поєднання параметричного збудження та автоколивань системи.

Література:

1. Гелетій В.М. Особливості комп'ютерного моделювання динаміки механічних систем з квазициклічними координатами./ Вісник НУ «Львівська політехніка». «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів.» 2010 р. № 641, с. 17-21.
2. 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

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ШЛІФУВАННІ ЦІВКОВОГО КОЛЕСА ГЕРОТОРНОЇ ПАРИ В УМОВАХ ОБКАТУ

Скібінський О.І., к.т.н., доцент, Гнатюк А.О., здобувач
Центральноукраїнський національний технічний університет

Вступ. Метод шліфування внутрішнього профілю цівкового колеса героторної пари [1] здійснюється шліфувальною оправкою з виносним шпинделем, яка консольно кріпиться в основному шпинделі верстату. Конструктивні обмеження її розмірів у поперечному перерізі, консольне закріплення та дія сил різання на інструмент роблять цей елемент технологічної системи найбільш піддатливим до дії згинальних моментів.

Постановка проблеми. Особливістю методу [1] є те, що він здійснюється в умовах неперервного планетарного обкату. Інструмент (шліфувальний круг) вводиться в зачеплення із цівковим колесом, утворюючи верстатне зачеплення. В процесі шліфування він здійснює обертальний і осцилюючий рух у вертикальній площині, залишаючись нерухомим у горизонтальній. Оброблюване цівкове колесо, пов'язане із центроїдою, яка обкатується без проковзування навколо нерухомої центроїди інструменту. Профіль круга окреслений ділянкою еквідистанти до вкороченої епіциклоїди (опуклою або увігнутою її ділянкою) і має змінний радіус кривизни уздовж активного профілю [2]. Це спричиняє зміну параметрів в зоні контакту (основним чином площі контакту та довжини профілю, задіяного в роботі). Відповідно, маємо ефект коливання значень сили різання в різних фазах обкату, що знайде відображення у вигляді похибки.

Метою роботи є прогнозування теоретичної похибки цівкового колеса, обумовленої особливостями обкатного шліфування кругами з різною геометрією профілю.

Основна частина. Спочатку необхідно визначити значення сили різання як функції фази обкату. З цією метою застосуємо модель С.М. Корчака для радіальної складової сили різання [3], яка виражається через кількість задіяних в роботі зерен $m(\varphi)$, розподілених по миттєвій площі контакту $\Delta F(\varphi)$:

$$P_y(\varphi) = \sum_{i=1}^{m(\varphi)} P_{y_i}^o; \quad m(\varphi) = \Delta F(\varphi) \cdot \sqrt{K_V},$$

де $P_{y_i}^o$ – радіальна складова сили різання від одиничного абразивного зерна;

K_V – об'ємна концентрація абразивних зерен.

Визначення площі контакту $\Delta F(\varphi)$ здійснювалось в умовах моделювання, в CAD-системі SOLIDWORKS для трьох значень припуску ($\delta_1=0,05$; $\delta_2=0,1$; $\delta_3=0,15$). Після визначення значень $\Delta F(\varphi)$, було обчислено почергові значення $P_y(\varphi)$. Отримані значення $P_y(\varphi)$ були прикладені у відповідних фазах обкату до тривимірної моделі оправки з інструментом. Програмний комплекс COSMOSWORKS дає змогу отримати величину пружного відгину Δu консольно закріпленої оправки складної конфігурації (рис. 1).

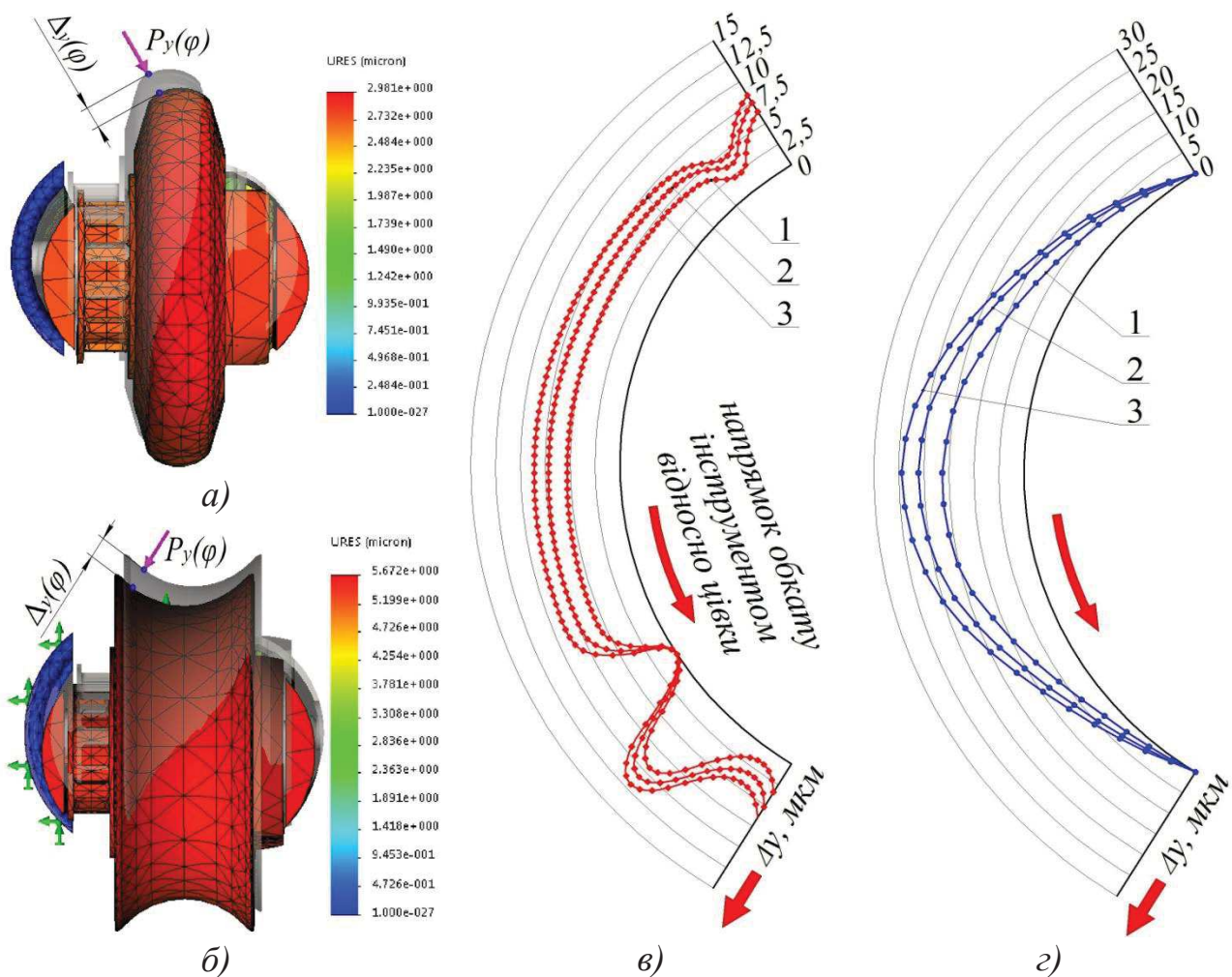


Рис. 1. Фрагменти результатів моделювання дії сили $P_y(\varphi)$ на шліфувальну оправку з інструментом в середовищі COSMOSWORKS (а, б), та прогноз похибки профілю в межах однієї цівки для обробки кругами з профілем на основі опуклої (в) і увігнутої ділянки еквідистанти до епіциклоїди (г).

Висновки. Визначивши значення сил, за допомогою програмного комплексу COSMOSWORKS було обчислено величини пружних відгинів шліфувальної оправки від номінального положення. При цьому в центральносиметричній фазі значення імовірних відхилень при шліфуванні кругом з профілем на основі увігнутої ділянки приблизно в 3 рази більші, ніж для геометрії опуклого профілю.

Література:

1. Пат. України 110823. Спосіб шліфування внутрішнього профілю зовнішнього колеса героторної передачі в умовах планетарного обкату. / Скібінський О. І., Гнатюк А. О., Підгаєцький М. М.; заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет; опубл. 12.05.2015.
2. Шанников В. М. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением / В. М. Шанников. – Л.: Mashgiz, 1948. – 172 с.
3. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М: «Машиностроение», 1974. – 280 с.

ФОРМУВАННЯ РІВНЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВИРОБІВ

Григор'єва Н.С., *д.т.н., професор*

Луцький національний технічний університет

Формування конкурентоспроможності виробів здійснюється за допомогою відповідної моделі, яка дає можливість оцінити її конкурентоздатність через конструкційну та технологічну досконалість, технологію виготовлення, експлуатаційні властивості, витрати і відпускну ціну. В основу розробки такої моделі закладається принцип формалізації даних, якими оперується, а також використання електронної інформаційної бази даних. Без виконання цих умов всі обчислення проводитимуться вручну з можливою частковою автоматизацією.

В загальному модель конкурентоспроможності виробу складається з таких модулів: підготовчого, конструкційного, технологічного, виробничого, експлуатаційного та економічного. В модель, в залежності від різновиду виробу та вимогань, можуть входити і інші модулі, наприклад, ергономічний, економічний, тощо [1]. Розроблена структурна схема такої моделі, за допомогою якої встановлюється рівень конкурентоспроможності виробу у порівнянні з вибраним прототипом. Витрати підготовчого модуля пов'язані з підготовкою виробництва, в що входить ознайомлення з ситуацією на ринку, конструкцією, технологією та експлуатацією вибраних аналогів і прототипу, окреслення робіт по запуску у виробництво запланованого виробу і все решта, що входить у підготовчі роботи. Конструкційний модуль пов'язаний з одержанням конструкції виробу K_1 (проектування, ліцензія і т.п.). В модель може входити і другий конструкційний модуль K_2 , зв'язаний з проектуванням необхідного технологічного обладнання та оснащення. На виході модуля отримуються всі види конструкційних витрат. В технологічному модулі визначаються витрати, пов'язані з розробкою технології, тобто пошук аналогів, прототипів і розробка технологічного процесу. Якщо ж такий процес закуповується, то це складатиме відповідні витрати. Виробничий модуль відтворює витрати на експлуатацію (функціонування) технологічного обладнання та оснащення, тобто контроль, діагностування, технічні огляди, ремонти, тощо. В модель входять і інші виробничі витрати, пов'язані з організацією виробництва. Слід зауважити, що оцінка конкурентоспроможності виробу повинна проводитися по всьому виробничому циклу, в тому числі і технології виготовлення, оскільки порівнюється виріб, виготовлений на конкурентному виробництві, у порівнянні з виробом - прототипом іншого виробництва. Відповідне звуження аналізу, наприклад, лише до складального виробництва, вимагатиме відповідного уточнення витрат виробу - прототипу, але це лише у випадку, коли аналізується тільки частина виробничого циклу. Технологічну собівартість виготовлення виробу утворює група витрат, зв'язана з вартістю матеріалів, заробітною платою робітників по виготовленню виробу та накладних видатків, що не ввійшли в виробничий модуль. Цехова, заводська та повна технологічна собівартість твориться за рахунок відповідного її збільшення додаванням цехових і заводських витрат. Якщо виробництво несе додаткові витрати, то вони також сумуються. Додаючи до цього чистий прибуток (цілком

очевидно, що він повинен бути нормованим), одержується відпускна ціна виробу. Обов'язкове включення в загальні витрати витрат на експлуатацію, які повинні бути мінімально можливими. Тепер, порівнюючи одержані загальні витрати з аналогічними вибраного прототипу виробу, його відпускною ціною та експлуатаційними витратами, стає можливим визначення очікуваного рівня конкурентоспроможності та одержання техніко-економічно узаasadненого висновку щодо продовження його розробки, або відкидання, як не конкурентоспроможного в майбутньому. Очевидно, що в цьому процесі є досить невизначених ситуацій, утрудненої формалізації даних і т.п., що вимагає застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [2].

Застосування технічних інновацій при проектуванні виробів і технологічного обладнання та оснащення, розробці технологічних процесів і вирішенні інших питань виробництва дозволяє суттєво підвищити рівень конкурентоспроможності. Збільшити конкурентоспроможність виробництва можна також за рахунок застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття технологічно-конструкційних рішень [3]. Рівень конкурентоспроможності виробу визначається з порівняння трьох складових: показників якості продукції, відпускної ціни та витрат на експлуатацію. Таким чином покращити конкурентоспроможність виробів можна за рахунок:

- обґрунтованого підвищення показників якості виробів;
- зменшення витрат на підвищення якості виробів;
- зменшення загальних витрат виготовлення виробу за окремими складовими;
- зменшення частки прибутку;
- зменшення відпускної ціни виробів;
- зменшення експлуатаційних витрат за окремими складовими.

Резюме. Суть конкурентоспроможності виробів полягає у оптимальному співвідношенні трьох складових: рівня якості виробів, витрат на їх виготовлення, закупівельної ціни та витрат експлуатації.

Вказане може бути досягнуте лише при сучасній вискоефективній і добре відпрацьованій конструкції виробу, гнучкій технології виготовлення, розробленій за принципами *CALS*-технологій, простій та дешевій експлуатації, високій кваліфікації робітників, зайнятих на всіх стадіях життєвого циклу виробу. Відсутність хоча б однієї складової приведе до погіршення конкурентоспроможності і далі одержання неконкурентоспроможних виробів.

Збільшення конкурентоспроможності виробів досягається також застосуванням технічних інновацій та інтелектуальних систем підтримки прийняття технологічно-конструкційних рішень.

Література:

1. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: [Монографія]. – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.
2. Бондарев В.Н., Адеф Г. Искусственный интеллект. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с.
3. Конкурентоспроможність підприємства: оцінка та напрями підвищення: [Монографія]. /Ред. О.Г.Янковського. – Одеса: Атлант, 2013. – 470 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Добровольська Л.Н., *к.т.н., проф.*, Куць Н.Г. *к.т.н., доц.*, Собчук Д.С., *к.т.н., доц.*
Луцький НТУ

Для успішного вирішення задач синтезу виробничих систем методами математичного моделювання потрібен коректний опис випадкових компонентів потоку заготовок між вузлами механізмів, що проектуються. Випадкові компоненти формуються не тільки відмовами обладнання, а також при помилкових спрацьовуваннях завантажувальних або орієнтуючих пристроїв. Опис цих компонент з допомогою експоненціальних функцій щільності вірогідності відмов, яка має монотонно спадаючий вид, не завжди вірний.

Перспективна можливість спрощення обрахунку і отримання аналітичних рішень для інтенсивності потоку, що змінюється в часі, з'являється при використанні замість експоненціального розподілу тривалості безвідмовної роботи розподілу дискретного, геометричного. Вибір виду розподілу, що адекватно відображає суть формування випадкових компонентів, важливий для забезпечення точності і достовірності прогнозування параметрів пристроїв, які проектуються. Із цього видно актуальність експериментальних досліджень у виробничих умовах реальних потоків заготовок, орієнтуючих механізмів і нагромаджуючих пристроїв

Виявити механізм явища дискретизації потоку і зв'язок розрахованих емпіричних параметрів функції статистичного розподілу інтервалів між заготовками з конструктивними параметрами пристроїв, а також з формою, матеріалом, якістю поверхонь заготовок не вдалось через обмежене число досліджених варіантів механізмів.

Продовження експериментальних досліджень в стендовому варіанті, в яких планується переналагоджувати механізми орієнтації на відмінні від паспортних режимів роботи, може дати додатковий матеріал, необхідний для розробки математичної моделі явища виникнення періодичної складової в густині розподілу інтервалів між заготовками.

З отриманих експериментальних даних впливає, що випадкова складова густини може бути апроксимована гармонійною функцією із спадаючою амплітудою, або, в іншому вигляді – дискретним гармонійним розподілом з розширеними максимумами.

Література:

1. Гавриш А. П., Ямпольский Л. С. Гибкие робототехнические системы — Киев, Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1989г. — 408с.
2. Асфаль С.Р. Роботы и автоматизация производства / Перевод с англ М.Ю.Евстегаева, и др.-М.:Машиностроение.1989.— 448 с.:ил.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

¹Долгов М.А., *д.т.н., доцент*, ²Смирнов І.В., *д.т.н., професор*

¹*Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України*

²*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Плазмово-напилені покриття широко використовуються в різних галузях техніки. Однак під час експлуатації вони можуть відшаруватися і розтріскуватися. Для підвищення механічних характеристик покриттів на основі оксиду алюмінію в порошки для напилення додають оксид титану у вигляді нанопорошків [1, 2].

Досліджено вплив технологічних режимів плазмового напилення порошку Al_2O_3 , який був модифікований нанопорошком TiO_2 . Для напилення використовували порошок оксиду алюмінію з розміром частинок 40–63 мкм [3]. Як модифікатор використовували нанопорошок оксиду титану з розміром частинок 40–50 нм, який вводили в кількості від 1,5 об.%. Напилення покриттів товщиною 250–300 мкм проводили на зразки зі сталі марки Ст 3. Для приготування гомогенної порошкової суміші з мікро- і наночастинок використовували планетарний кульовий млин ХQM-2. Важливою умовою отримання якісного покриття під час напилення мікро- і нанопорошків є використання аргонового ламінарного плазмового струменя. Тому використовували плазмотрон з частково винесеної дугою і додатковим обдувом плазмового струменя концентричним потоком захисного газу. Для стабілізації процесу горіння плазми і підвищення температури за рахунок обтиску магнітними хвилями плазмового потоку, в конструкцію плазмотрона була додана магнітна система.

Струм дуги встановлювали в межах 80–100 А, напругу – 35–50 В. Продуктивність обладнання складала до 4 кг/год з загальною витратою плазмоутворюючого, транспортуючого і захисного газу (аргону) – 5 л/хв. Внаслідок таких конструктивних особливостей і відповідних технологічних режимів, характер перебігу плазмового струменя був близький до ламінарного, що забезпечило сприятливі умови для збереження і перенесення наночастинок.

Внаслідок того, що експлуатаційні навантаження викликають відшарування покриттів, то за функцію відгуку була прийнята адгезійна міцність, яку досліджували при випробуваннях на відрив. Для склеювання циліндричних зразків використовували клей на епоксидній основі [4]. Поверхню зразків зі сталі Ст 3 перед напиленням для поліпшення адгезійної міцності піддавали струменевій обробці корундовим порошком. Діаметр зразків становив 24,5 мм. Випробування проводили на розривній машині FM–1000.

З огляду на складність процесу плазмового напилення, для досліджень застосовували методи експертного відсіювання факторів, планування експерименту і статистичної обробки даних [5]. Після застосування методів експертної оцінки було отримано середнє апіорне ранжування факторів

плазмового напилення. Як незалежні змінні (технологічні фактори), які є найбільш значущими, тобто мають найбільший вплив на характеристики міцності покриттів, обрані: x_1 – струм лінзи I_l , А; x_2 – струм дуги I_d , А; x_3 – положення соленоїда щодо сопла L , мм.

Рівні варіювання факторів приведені в табл. 1. У табл. 2 представлені натуральні значення технологічних факторів і їх кодування.

Таблиця 1. Фактори та інтервали варіювання

Фактори	Рівні варіювання
x_1	80...100
x_2	0...7
x_3	6...10

Таблиця 2. Кодування факторів

Рівні факторів	I_d , А	I_l , А	L , мм
Нульовий x_0	90	3,5	8
Нижній x_{-1}	80	0	6
Верхній x_{+1}	100	7	10
Інтервал варіювання факторів δ_i	10	3,5	2

Побудували матрицю центрального композиційного ротатбельного планування другого порядку для трьох факторів, яка складається з плану повного факторного експерименту типу 2^3 , шести дослідів в «зіркових точках» і шести дослідів в центрі плану. Відповідно до матриці планування досліджували 20 технологічних режимів нанесення покриттів. В результаті експериментальних досліджень були отримані характеристики міцності для досліджуваних покриттів внаслідок змінювання технологічних факторів відповідно до плану експерименту.

Після обробки результатів експерименту отримано математичну модель, що описує залежність адгезійної міцності від технологічних факторів. Виключення статистично незначущих коефіцієнтів дозволило отримати наступну математичну модель в кодованих значеннях:

$$y = 10,24 + 1,06x_1 + 0,74x_2 + 0,52x_1x_2 - 0,38x_1x_3 - 2,2x_1^2 - 1,8x_2^2$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за допомогою розрахункового критерію Фішера. Аналіз впливу технологічних режимів на адгезійну міцність дозволив визначити ті чинники, які мають на неї найбільший вплив. Найбільш значимими факторами є струми лінзи і дуги. Визначили вплив кожного з факторів на адгезійну міцність. Отриманій моделі в факторному просторі відповідає поверхня відгуку (рис. 1).

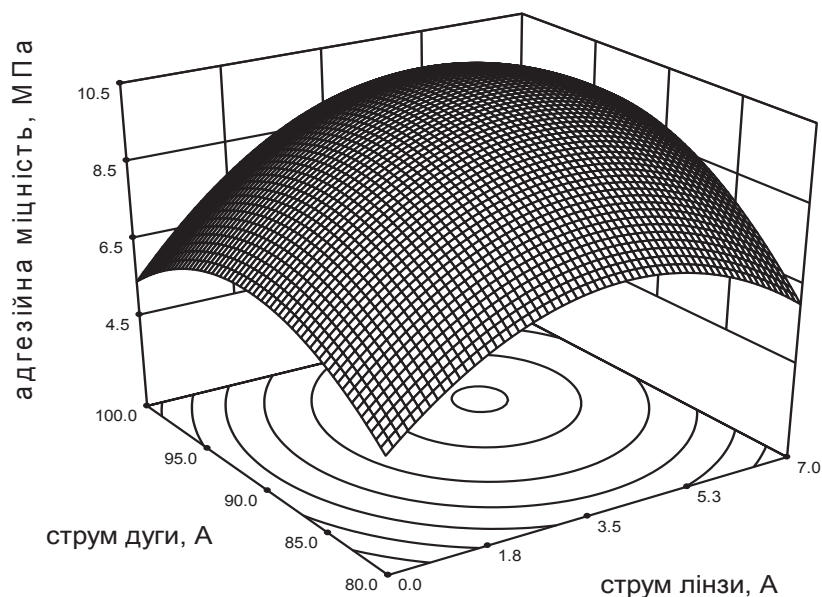


Рис.1. Поверхня відгуку в залежності від струмів дуги та лінзи при положенні соленоїда щодо сопла $L = 8$ мм

Аналіз результатів дозволив зробити висновок, що за технологічних режимів (струм лінзи – 4,5 А, струм дуги – 93 А, положення соленоїда відносно сопла – 6,8 мм) адгезійна міцність покриттів максимальна (10,5 МПа).

Література:

1. Vicent M., Bannier E., Moreno R. et al. Atmospheric plasma spraying coatings from alumina–titania feedstock comprising bimodal particle size distributions // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2013. – V. 33, Issues 15 – 16. – P. 3313 – 3324.
2. Żyrawski W., Gyrál A., Bokuvka O. et al. Microstructure and tribological properties of nanostructured and conventional plasma sprayed alumina–titania coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – V. 268. – P. 190 – 197.
3. Смирнов І.В., Долгов М.А., Черний А.В. та інш. Модифікування плазмово-напилених покриттів застосуванням плакованих та нанодисперсних порошоків // *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. – Луцьк, 2015. – Вип. № 51. – С. 199 – 204.
4. Букетов А.В., Долгов Н.А., Сапронов А.А., Нигалатий В.Д. Прочность сцепления при отрыве и сдвиге эпоксидных нанокompозитных покрытий, наполненных ультрадисперсным алмазом // *Проблемы прочности*. – 2018. – № 3. – С. 71 – 78.
5. Долгов Н.А., Смирнов И.В., Андрейцев А.Ю. Влияние режимов плазменного напыления нанокompозитного порошка $Al_2O_3 - nanoTiO_2$ на прочность сцепления покрытий // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Сб. научн. тр. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: А.В.Белый (гл. ред.) – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 83 – 92.*

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В ПРОГРАМІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРА-МЕХАНІКА

Долішній Б. В. , к.т.н., доцент, Панчук В. Г. , д.т.н., професор

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На даний час комп'ютерне моделювання практично застосовується в різних сферах, починаючи від моделювання технічних, технологічних і організаційних систем і закінчуючи проблемами розвитку людства і всесвіту. Використання комп'ютерного моделювання для прийняття рішень у виробничій сфері дозволяє програвати будь-які ситуації, зокрема і такі, що в реальності приведуть до виходу системи з ладу, і отримувати найбільш ефективні розв'язки проблеми.

Зокрема, це стосується і процесів розробки логістичних систем машинобудівних виробництв, які, загалом, являють собою складну логістичну систему з ієрархічною структурою, яка включає в себе велику кількість підсистем, що забезпечують функціонування матеріальних та інформаційних потоків в межах підприємства і їх зв'язок із зовнішнім середовищем. Для прикладу, гнучке автоматизоване виробництво об'єднує в собі автоматизовані системи: виробничу, транспортно-накопичувальну, проектування, технологічної підготовки виробництва, керування технологічним процесом, інструментального забезпечення, контролю та інші.

Огляд відомих систем моделювання показує, що чи не найбільш популярним засобом, який використовується на практиці, є імітаційне моделювання. Основна його цінність полягає у застосуванні методології системного аналізу для розв'язку практичних завдань і дозволяє використовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності з врахуванням важко формалізованих чинників.

Найбільші труднощі і найбільш серйозні помилки при моделюванні виникають при переході від змістовного до формального опису об'єктів дослідження, що пояснюється участю в цьому творчому процесі колективів різних спеціальностей: фахівців в галузі систем, які моделюються (замовників), і фахівців в галузі машинного моделювання (виконавців). Тому, власне, для знаходження взаєморозуміння між цими групами фахівців виникає необхідність вивчення майбутніми інженерами-механіками основ моделювання. Знання типових математичних схем, які використовуються для моделювання систем заданого класу, дозволить знайти спільну мову з фахівцями з системного аналізу при переході від змістовного опису системи до її формальної математичної схеми і обрати адекватний конкретний метод одержання результатів з використанням ЕОМ.

В навчальному процесі ІФНТУНГ вивчаються загальні математичні схеми комп'ютерного моделювання і, зокрема, методи та засоби моделювання логістичних виробничих систем як систем масового обслуговування.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ПОВЕРХНІ ВІБРОУСТАНОВКИ ІЗ ПРОСТОРОВИМИ КОЛИВАННЯМИ

Дєдов О.П., к.т.н., доцент

Київський національний університет будівництва і архітектури

В роботі досліджені форми просторових коливань формують формуючих коливань віброустановки для ущільнення бетонних сумішей. Математична модель конструкції віброустановки представлена динамічною системою «формуєть поверхня – бетонна суміш» з розподіленими параметрами. Моделювання робочого процесу вібраційної установки виконується на основі використання методу скінченних елементів із застосуванням розрахункового комплексу MSC.NASTRAN.

При створення комп'ютерної моделі досліджуваної системи застосовувалися методи, які забезпечували простоту та адекватність реального процесу руху формують поверхні. На першій стадії досліджень за нелінійною теорією проводився статичний аналіз напружено-деформованого стану конструкції під дією всіх зовнішніх сил (Static Analysis). На другій стадії використаний метод модального аналізу (Modes Analysis) для визначення основних форм і частот коливань. Третя стадія досліджень виконувалася за допомогою динамічного аналізу при реалізації однієї із форм коливань (Transient Analysis), яка визначена при модальному аналізі. При динамічному аналізі визначалися амплітуди та частоти коливань формують конструкції віброустановки. Необхідна кількість дослідів була встановлена на основі методів статистичної обробки результатів експериментальних досліджень, що були проведені на новоствореній установці. Порівняння теоретичних та експериментальних досліджень показали задовільну збіжність отриманих значень амплітуд та частот коливань формують конструкції віброустановки. Отримані числові значення амплітуд та частот коливань по поверхні формують конструкції були використані для раціонального розташування збудників коливань по периметру віброустановки.

Наступним етапом досліджень було визначення напружено-деформованого стану формують конструкції з метою забезпечення надійності роботи віброустановки. Ця частина досліджень базувалася на використанні стандартних програм і рівнянь, які описують поведінку балок на пружній та на пружно-пластичній основі. Особливість даних досліджень полягала в тому, що кожен виділений елемент конструкції перебуває в умовах середніх значень напружено-деформованого стану в залежності від навантаження, яке припадає на цей елемент. Цей розподіл дозволив вибрати раціональну конструкцію перерізу в кожному вузлі. При цьому були враховані критерії надійності металоконструкцій, вплив основних робочих чинників на прогин, стійкість і коливання окремих елементів системи. Саме на цій основі і було створено раціональну конструкцію віброустановки із забезпеченням надійності її роботи та здійснити економію матеріалу.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗТОЧУВАННЯ ПОЯСКІВ У БЛОКАХ ЦИЛІНДРІВ

Гевко І.Б. *к.т.н.*, Казмірчук П.В. *аспірант*

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Пристрій для розточування ущільнюючих циліндричних поясків під гільзи блоків циліндрів (рис.1) виконано у вигляді шліцевого штока, який по посадці ковзання встановлений в центральний шліцевий отвір циліндричного корпусу з можливістю осьового і кругового переміщення, нижній кінець якого виконано конусної форми. По зовнішньому діаметру руховий корпус є у взаємодії з підтискною втулкою, яка знизу жорстко закріплена до конічної центрувальної втулки, яка зовнішньою нижньою конусною поверхнею є у взаємодії з конічною поверхнею конічної центрувальної втулки, знизу на циліндричному пояску якої жорстко встановлено підшипник кочення внутрішнім діаметром. Зовнішнім діаметром підшипник кочення встановлено у внутрішній діаметр циліндричного корпусу, нижній циліндричний бурт якого зовнішнім діаметром є у взаємодії з внутрішнім отвором блока циліндрів, в якому необхідно розточувати ущільнюючі пояски. З нижнього торця конічної центрувальної втулки рівномірно по колу виконано три радіальні пази, які є у взаємодії з розточними різцями, які відтиснуті до осі корпусу за допомогою відтискних пружин.

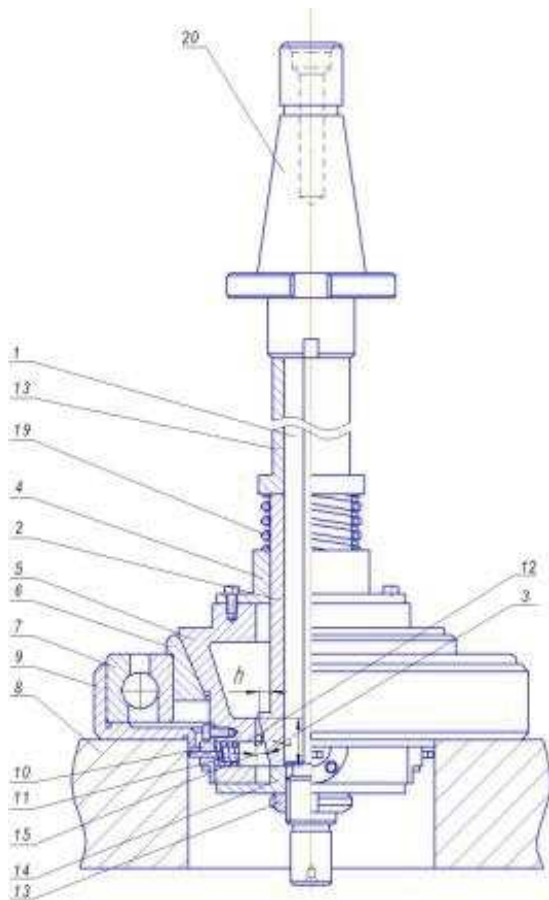


Рис.1. Пристрій для розточування ущільнюючих циліндричних поясків під гільзи блоків циліндрів

Крім цього, розточні різці конусними торцевими поверхнями є у взаємодії з конусною поверхнею 3 шліцевого штока. Знизу конічна центрувальна втулка закрита кришкою, яка внутрішнім діаметром є у взаємодії з нижнім різьбовим кінцем рухомого шліцевого штока, на зовнішньому діаметрі якого нагвинчена гайка. Остання верхнім торцем є у взаємодії з нижнім торцем кришки. Розрахункова схема зміни величин подачі шпинделя $S_{ш}$ і різця S_p для різних кутів α зображена на рис. 2. Величина подачі шпинделя $S_{ш}$ (мм/об.) за даною схемою рівна:

$$S_{ш} = BB_1 = a \cos \alpha - a \cos \alpha_1 = a(\cos \alpha - \cos \alpha_1), \quad (1)$$

де a - довжина тяги, мм.

Величина подачі різця S_p для даної величини подачі шпинделя рівна

$$S_{ш} = CC_1 = a \sin \alpha_1 - a \sin \alpha = a(\sin \alpha_1 - \sin \alpha). \quad (2)$$

Відношення $S_p/S_{ш}$ (основна характеристика розточних головок) буде складати

$$\frac{S_p}{S_{ш}} = \frac{a(\sin \alpha_1 - \sin \alpha)}{a(\cos \alpha - \cos \alpha_1)} = \frac{\sin \alpha_1 - \sin \alpha}{\cos \alpha - \cos \alpha_1}. \quad (3)$$

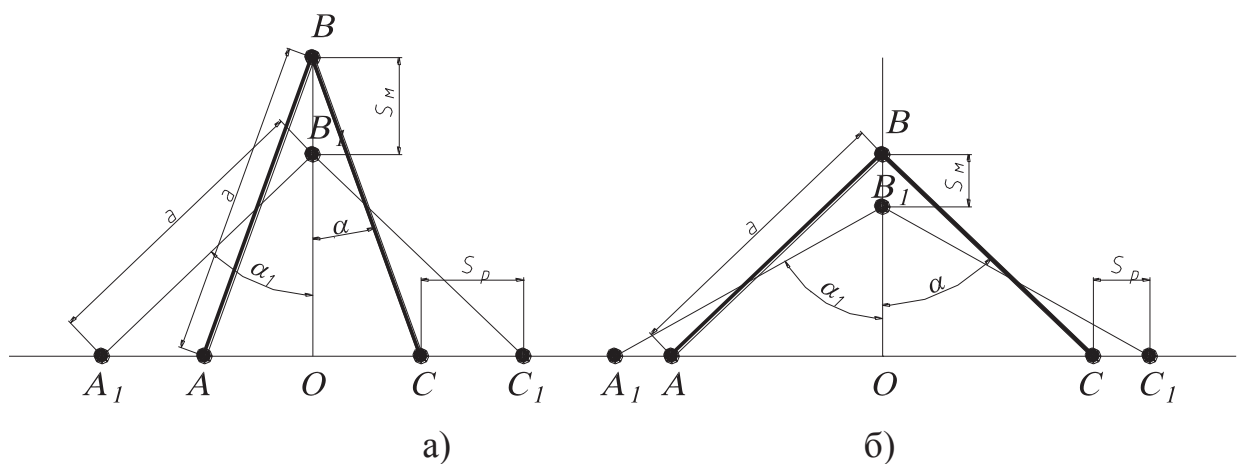


Рис. 2. Розрахункова схема зміни величини подачі шпинделя $S_{ш}$ і величини подачі різця S_p для різних кутів α : а) – малий кут α , $S_{ш} < S_p$; б) – великий кут α , $S_{ш} > S_p$

Оскільки конструкція РГ передбачає можливість зміни кута α в діапазоні $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, то розрахунок проводимо в цьому діапазоні. Для спрощення розрахунку відношення $S_p/S_{ш}$ візьмемо середнім в межах 10° (α_1). Графік залежності зміни $S_p/S_{ш}$ від кута α розміщення шарнірів в РГ зображений на рис. 3.

Із графіка видно, що умова $S_p/S_{ш}$ забезпечується при значеннях кута $\alpha > 45^\circ$. Найбільш раціональним є застосування в конструкції РГ кута в межах $\alpha = 45^\circ \dots 75^\circ$. Приймавши кут $\alpha = 45^\circ$ в початковому положенні і параметр тяги $a = 18 \text{ мм}$, забезпечуємо максимальний радіальний хід різців.
 $L = a - a \sin 45^\circ = a(1 - \sin 45^\circ) = 5,2 \text{ мм}$

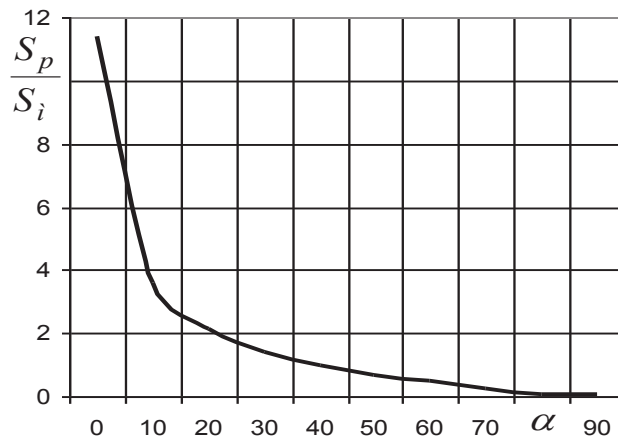


Рис. 3. Графік залежності зміни S_p/S_u від кута α розміщення шарнірів в РГ

Література:

1. Линчевский П.А. Тонкое растачивание отверстий методом распределения подачи между двумя резцами. Резание и инструмент: Респ. межвед. науч.- техн. сб. - Харьков: Выща школа, 1973. - Вып.7. - С.27-29.
2. Кузнецов Ю.Н., и др.. Самоустанавливающиеся зажимные механизмы. / Ю.Н. Кузнецов. Справочник. – К.: Техника, София: Гос. Узд-во. «Техника», 1988, 222 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ЧАСТОТ КОЛИВАНЬ ПРИ ТОНКОМУ ТОЧІННІ ВАЛУ ПЕРЕМИКАННЯ ВЕРСТАТА 16К20

Карабут В.М., ст. викладач

Національна металургійна академія України

Тонке точіння широко застосовують в промисловості при обробки циліндричних і конічних поверхонь (зовнішніх і внутрішніх), а також торцевих поверхонь, уступів і ін. При тонкому точінні шорсткість оброблених поверхонь відповідає Ra 1,25 ... Ra 0,32, а точність розмірів деталей відповідає 7-8-му, а іноді і 6-му квалітету точності. Тонке точіння по точності розмірів і шорсткості поверхні не поступається шліфуванню [1].

При тонкому точінні оброблена деталь обертається з підвищеними числами оборотів (2000-6000 об/хв), що з урахуванням конструкції обробленої деталі і з урахуванням змінного припуску (0,01-0,2) сприяє виникненню вібрацій. Джерелом вібрацій є резонанс. Поява вібрацій при тонкому точінні веде до зменшення точності металообробки і, в деяких випадках, до відхилення від заданого допуску і технологічних вимог [1].

Мета роботи: визначити методом скінченних елементів групи частот коливань моделі деталі «Вал перемикавання», на яких можливе виникнення резонансу.

Для цього в ознайомчій версії програми SolidWorks [2] розроблена тривимірна модель деталі «Вал перемикавання» за геометричними і фізичними параметрами відповідно стадії фінішної обробки.

У модулі SolidWorks Simulation [2] відповідно до технологічного процесу тонкого точіння здійснено обмеження рухливості моделі, відповідно закріпленню валу в центрах. Змодельований процес виникнення частот власних коливань моделі деталі «Вал перемикавання». У результаті отримано список частот, на яких можлива поява резонансу (рис.1).

Режим No.	Частотный(Рад/сек)	Частотный(Герц)
1	0.02316	0.003686
2	243.34	38.729
3	244	38.834
4	724.79	115.35
5	725.93	115.54

Рис.1. Список резонансних частот

Частота вимушених коливань від періодично діючої сили різання визначається конкретно для кожної схеми обробки.

При точінні частоту вимушених коливань визначаємо за формулою [1]:

$$\omega = n \cdot z, \text{сек}^{-1} \quad (1)$$

де n - частота обертання обробленої деталі (об/сек);

z - число збурень за 1 оборот.

При точінні частоту вимушених коливань зазвичай визначають, приймаючи $z = 3$, тому що на обробленій заготовці завжди знайдуться 3 найбільш віддалені від осі обертання лінії, де припуск, що видалається, буде найбільшим [1].

Оскільки при тонкому точінні оброблена деталь обертається з підвищеними числами оборотів (2000-6000 об/хв), частоти вимушених коливань визначим за формулою (1):

$$\omega = (2000/60) \cdot 3 \dots (6000/60) \cdot 3 = 100 \dots 300 \text{ Гц.}$$

Згідно даних з епюр частот власних коливань моделі деталі «Вал перемикавання» і розрахункових частот вимушених коливань можливо зробити висновок, що при таких співвідношеннях власних частот коливань

оброблюваної деталі «Вал перемикання» і вимушених частот коливань від сили різання проводити обробку неможливо.

Рекомендується підвищувати власну частоту коливань деталі «Вал перемикання» за рахунок підвищення жорсткості (застосовувати люнет). А також організовувати технологічний процес так, щоб на всіх режимах обробки частота обертання обробленої тонким точінням деталі «Вал перемикання» перебувала у передрезонансній області на відстані від резонансної зони не менше 20-25% [1], що відповідає частотам обертання 3050-6000 об/хв.

Висновки:

1. Застосування програми SolidWorks і її модуля SolidWorks Simulation [2] дозволило визначити частоти власних коливань моделі деталі «Вал перемикання» при її обробці в режимі тонкого точіння.

2. З аналізу співвідношень власних коливань і частот вимушених коливань, отриманих розрахунковим шляхом, визначено діапазон частот обертання обробленої деталі, на яких гарантовано не виникне резонанс. Приймавши отримані дані при розробці технологічного процесу, можна значно зменшити шорсткість оброблених поверхонь і збільшити точність одержуваних розмірів.

Література

1. Маталін А.А. Технологія машиностроєння: Учебник для машиностроительних вузів по спеціальності «Технологія машиностроєння, металорежущіє станки и инструменты». – Л.: Машиностроєння, 1985. – 496с.

2. 3D CAD DesignSoftware_SOLIDWORKS - Website[Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.solidworks.com>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ ПРИ ГЛИБОКОМУ СВЕРДЛІННІ

¹Карпик Р. Т. *к.т.н., доцент*, ²Костюк Н. О., *аспірант*

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

²Хмельницький національний університет

Під час довготривалого свердління глибоких отворів малого діаметру на незмінних режимах різання крутний момент досягає критичного значення, що призводить до руйнування інструменту, непоправного пошкодження (браку) виробу. У зв'язку з цим виникає необхідність керування траєкторіями виконуючих елементів верстата з періодичними виведенням інструменту з зони різання, тобто керування параметрами процесу свердління без руйнування інструменту та забезпечення достатнього виведення свердла з зони обробки [1].

Також вагомою проблемою і недоліком процесу глибокого свердління є низька осьова стійкість спіральних свердл і велика сила тертя в зоні різання, що сприяє зростанню адгезійних сил тертя при більшому заглибленні інструменту в заготовку та спричиняє високі температури в зоні різання [2].

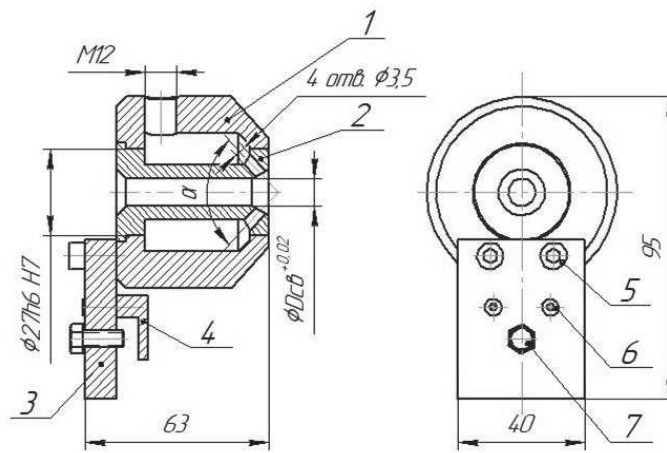


Рис. 1. Ескіз пристрою для подачі МОР

Тому проведено аналіз досліджень та розроблено конструкцію пристрою для направлення інструменту та подачі охолодження (рис. 1), який складається з корпусу 1, втулки 2, кронштейну 3, опори 4, гвинтів 5, 6, 7. Пристрій базується на столі верстата за допомогою шпонкового з'єднання, яке входить у паз столу та фіксується болтом 7. У втулці 2 розміщено отвір D^{T_d} , який служить для направлення інструменту (свердла) та виконує роль кондукторної втулки. На торцевій поверхні просвердлено чотири отвори $\varnothing 3,5$ мм під різними кутами ($\alpha = 30^\circ$; $\alpha = 60^\circ$; $\alpha = 90^\circ$), а також отвори на верхній циліндричній поверхні корпусу 1, які служать для закріплення штуцера, та є каналами для подачі мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) в зону обробки.

Дослідження технологічних параметрів процесу обробки отворів малого діаметру при глибокому свердлінні проводилось на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6М82. Закріплення свердла (поз. 2) здійснювалось в цанговому патроні 1, заготовки 4 – за допомогою універсального затискного механізму 5 до столу верстата 6 (рис. 2). Матеріал заготовки – інструментальна сталь ХВГ; розміри заготовки 350 x 500 x 50 (мм). Для вимірювання температурних показників обробки отворів малого діаметру при значній глибині у дослідній заготовці просвердлено отвори з певним інтервалом для встановлення датчиків температури 3. Підведення МОР у зону різання здійснювалось через пристрій 1 поливом 14 л/хв. під тиском 0,5–1,5 МПа з боку хвостовика на передній поверхні свердла.

При дослідженнях обробки використовувалось спіральне свердло $\varnothing 8,7$ мм із швидкорізальної сталі Р18.

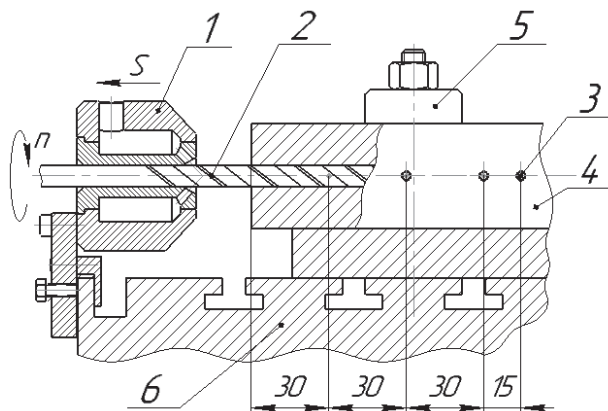


Рис. 2. Схема обробки з розміщенням термонари

Режими різання при дослідженнях: подача S_o : 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 (мм/об); частота обертання шпинделя: 600; 700; 800; 925 (хв^{-1}); швидкість різання V : 16; 18; 19; 21 (м/хв).

Після вимірювання температури під час досліджень у заготовці зроблено розріз уздовж осі для полегшення вимірювань похибки зміщення отвору відносно осі та діаметральних похибок.

Дослідження технологічних параметрів процесів свердління глибоких отворів малих діаметрів проводилось з центруванням отвору та охолодженням, а також без центрування отвору та без охолодження.

Свердління отвору показало, що найбільші зміни деформацій зростають з більшою глибиною свердління. На глибині 105 мм без охолодження температура зростає до 106°C , а при використанні мастильно-охолоджувальної рідини поступово спадає до 82°C . Високі температури при свердлінні з центруванням та без центрування впливають на зміщення отвору відносно осі та на діаметральні похибки. Свердління без центрування отвору та без охолодження збільшило зміщення отвору відносно осі на 0,65 мм, а діаметральну похибку до 0,3 мм. Під час свердління на такій глибині виникають відцентрове биття інструментом (свердлом), що збільшує діаметральну похибку, а також адгезійні сили тертя, які впливають на вихід стружки з зони різання. При використанні центрування та охолодження відбуваються зменшення зміщення отвору відносно осі та на діаметральну похибку до 0,2 мм.

Моделювання процесу свердління в програмному комплексі DEFORM підтвердило результати досліджень з незначними відхиленнями.

За результатами моделювання температура при свердлінні зменшується на 3% в порівнянні з практичними дослідженнями, а похибка отримання діаметру отвору співпадає з практичним показником, проте зміщення відносно осі спостерігалось на 33% більше від практичного значення.

Отже, використання MOP поливом під тиском у зону різання при обробці глибоких отворів малих діаметрів сприяє значному покращенню відводу стружки, зменшенню деформацій заготовки та інструменту, пониженню температури різання у зоні обробки.

Дослідження з метою вдосконалення процесу свердління глибоких отворів малих діаметрів проводитимуться і в подальшому з метою підвищення стійкості свердла та точності виконання розмірів.

Література:

1. Грановский Г.И. Резание металлов : учеб. для вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – Москва: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Синельщиков А.К. Повышение эффективности обработки спиральными сверлами/ А.К. Синельщиков, Г.В. Филиппов – Москва: Станки и инструмент: 1974. -№3. – С. 35-37.
3. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения / Г.П Шпеньков – Минск : Университетское, 1991. - 397 с.
4. P.J. Arrazola, T. Ozel, D. Umbrello, M. Davies, I.S. Jawahir. Recent advances in modelling of metal machining processes, CIRP Annals –Manufacturing Technology, Vol. 62, 2013, P. 695–718.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВСТАВНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ

Карпик Р. Т. к.т.н., доцент, Пітулей Л. Д. к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Сучасні шарошкові долота за ефективністю руйнування гірських порід а також за стійкістю бурового інструменту є слабкою ланкою бурового обладнання [1]. Враховуючи, що буровий інструмент є інструментом разового використання, в роботі якого приймає участь тільки виступаюча робоча частина зубків, які серійно виготовляються з дорогих і дефіцитних вольфрамкобальтових сплавів ВК4-В, ВК8-ВК, ВК8-8К, ВК11-8К високої твердості, але й значної крихкості, виникає необхідність у пошуку альтернативних матеріалів для різальної частини вставних зубків шарошок бурових доліт (ШБД) з відповідними фізико-механічними властивостями [2]. Тому створення принципово нових технологічних процесів виготовлення зубків ШБД є актуальним. Суть пропонованої технології виготовлення вставних зубків ШБД полягає у використанні відходів (стружки) долотної (хромо-нікелевої) сталі як матриці, та арміторів (спечених карбідів вольфраму та карбідів титану на матричній основі з ферохрому).

Для отримання матричного розплаву пропонується використання ливарного обладнання для електрошлакового переплаву. Електрод виготовляється у вигляді трубної катанки з хромо-нікелевої сталі та заповнюється спеченими гранулами, отриманими з відходів карбідів титану та вольфраму, в результаті спрацювання різального інструменту в механічній обробці. Відходи змінних багатограних непереточуваних твердосплавних пластин розмелюються в кульових млинах для отримання зерен певної фракції.

Отриманий порошок із зернами певної фракції необхідно змішати з порошком карбідів титану та ферохрому у співвідношенні, яке забезпечить питому вагу матриці композиційного зубка ШБД [3].

Використовуючи технологію електрошлакового переплаву, можливо отримати з хромо-нікелевої стружки та твердосплавних пластин різального інструменту механічної обробки, які вийшли з ладу, вставні композиційні литі зубки ШБД. З метою вдосконалення технологічного процесу та покращення структури матеріалу вставного композиційного зубка (отримання дрібнозернистої структури та рівномірного розміщення арміторів в тілі матриці) рекомендується під час процесу кристалізації розплаву накладати магнітне поле [4]. Слід зауважити, що власне магнітне поле забезпечує можливість передачі значного імпульсу енергії технологічній системі і, як наслідок, можливого створення на рівні мікро– та макроструктури композиційного матеріалу “хромо-нікелева сталь–твердий сплав” практично заданих градієнтів швидкостей необхідного часткового розчинення арміторів для отримання необхідних фізико-механічних властивостей матеріалу вставного зубка ШБД.

На основі теоретичних досліджень визначено параметри термічного циклу армування зубків під дією магнітного поля. Для типорозмірів зубків КМ25 –

КМ70 рекомендована температура сплавлення електрода становить 1647° С, магнітна індукція в межах 0,02 – 0,1 Тл, кількість твердого сплаву на одну заготовку 4,7 – 19,5 г, швидкість подачі електрода 35 г/с швидкість твердого сплаву – 5 г/с.

На основі проведених розрахунків режимів термічного циклу під дією магнітного поля розроблено технологію виготовлення вставних композиційних зубків ШБД з метою забезпечення довговічності бурового інструменту.

Література:

1. Кершенбаум В. Я. Шарошечные долота. Международный транслятор – справочник: Международная инженерная энциклопедия / [Под. науч. ред. В. Я. Кершенбаумана, А. В. Торгашова]. – М.: Недра, 2000. 245 с.

2. Абубакиров В. Ф. Буровое оборудование: справочник в 2т. Т: Буровой инструмент / [Абубакиров В. Ф., Буримов Ю. Г., Гноевых А, Н. и др.]. – М.: Недра, 2003 –494с.

3. Васильев В. В. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др.. –М. Машиностроение, 1990. -512с.

4. Карпик Р. Т. Вдосконалення технології композиційного армування дискових шарошок у магнітному полі / Р. Т. Карпик, Л. Д. Пітулей / Матеріали II – і Міжнародної науково – технічної конференції “Машини і обладнання для нарощування вітчизняного видобування нафти і газу” 24 – 27 квітня 2018 р. –С. 270 – 271.

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ВСТАВНИХ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ

Пітулей Л. Д. к.т.н., доцент, Карпик Р. Т. к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Вагомою перевагою використання металоматричних литих композиційних матеріалів при конструюванні руйнівного оснащення бурових інструментів є можливість створення елементів конструкцій із попередньо заданими властивостями, які б оптимально відповідали характеру та умовам експлуатації. Інваріантність схем армування та способів литва (відцентрове, під дією магнітного поля, вібраційне, у вакуумі) дозволяє направлено регулювати міцність і пластичність композиту, рівень робочих температур та інші властивості композиційних матеріалів [1].

В композиційному матеріалі “хром-нікелева сталь – реліт” вставного зубка шарошки бурового долота (ШБД) важливою є матриця, яка відповідає за монолітність композиту, фіксує форму робочої частини вставного зубка, розподіляє діючі навантаження при експлуатації бурового інструменту, забезпечуючи рівномірні напруження на арматори та їх перерозподіл при руйнуванні.

Технологічні вимоги до матриці литого композиційного матеріалу зубків ШБД визначаються процесами суміщення арміторів в матриці при заданому об'ємному вмісті для максимально можливого збереження характеристик міцності реліту, створення стійкої взаємодії на межі "армітор - матриця" [2]. Адгезійна взаємодія гранул реліту та розплав хромо-нікелевої сталі визначає рівень фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу зубків ШБД та їх збереження при експлуатації. Локальні напруження в композиті досягають максимальних значень якраз поблизу або безпосередньо на межі "армітор – матриця", де зазвичай починаються руйнування матеріалу, тобто викришування зерен реліту. Ця межа має володіти певними властивостями для забезпечення ефективної передачі навантаження від матриці на армітор. Адгезійний зв'язок по межі не повинен руйнуватись під дією термічних та усадкових напружень при виготовленні композиційного матеріалу зубків, які можуть виникнути внаслідок різниці в температурних коефіцієнтах лінійного розширення матриці та армітора або в результаті хімічного усадження перехідної армованої зони при кристалізації [2].

З метою покращення якості композиційного матеріалу вставних зубків ШБД запропоновано нанесення спеціальних покриттів із адгезійно-активних матеріалів на армітори перед введенням у матричний розплав. Нікелеве покриття наноситься методом хімічного осадження протягом 1 – 4 хв. для забезпечення товщини плакованого шару 10 – 40 мкм в залежності від радіуса армітора та виконання умови критерію оптимальної міцності композиційного матеріалу: $l_0 = 0,55 r_a$, де:

l_0 – середня віддаль між найближчими арміторами,

r_a – радіус армітора при об'ємній концентрації $\varphi = 0,66$ [3].

При цьому максимальне значення пластичності композиційного матеріалу вставного зубка ШБД досягається за виконання аналітичної залежності – середня вільна віддаль між арміторами у матриці дорівнює середньому розміру зерна матриці.

Адгезійно-активний плакований шар, нанесений на зерна реліту, захистить поверхні арміторів від окислення, а також від активної хімічної взаємодії з розплавом хромо-нікелевої матриці, покращуючи змочуваність поверхні зерен реліту розплавом, тобто зменшать вірогідність фізико-механічної деградації композиту. При використанні адгезійно-активного плакування арміторів плакованого шару необхідно враховувати, що для забезпечення якості композиційного матеріалу вставних зубків ШБД товщина нанесеного покриття повинна забезпечити міцну перехідну армовану зону на межі "армітор – матриця" та обмежене розчинення реліту у розплаві.

Дана технологія дозволить уникнути специфічних концентрацій напружень на межі "армітор – матриця", які можуть виникнути в процесі виготовлення вставних композиційних зубків ШБД.

Література:

1. Портной К. И. Структура и свойства композиционных материалов / К. И. Портной, С. Е. Салибеков, И. Л. Светлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.

2. Колпашников А. И. Деформирование композиционных материалов / А. И. Колпашников, Б. А., Арефьев, В. Ф. Мануйлов. –М.: Металлургия, 1982. –248 с.

3. Пітулей Л. Д. Дослідження отримання оптимальної структури віброармованої зони зубків шарошок бурових доліт / Л. Д. Пітулей, Р. Т. Карпик // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. –№1 (221). – С. 33 – 36.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПРЕСФОРМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РЕАКТОПЛАСТІВ

Карпик Р.Т, к.т.н., доцент, Бухало А.А., магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Сучасне виробництво характеризується багатою номенклатурою деталей, які виготовляються, з великою зміною виробів, що випускаються. При цьому САПР стали невід’ємною частиною виробничого процесу та актуальним напрямом вдосконалення технологічної підготовки виробництва, що забезпечує високу якість та ефективність проектування [1]. Розробка та вдосконалення системи автоматизованого проектування технологічної оснастки дозволяє скоротити терміни технологічної підготовки виробництва і зменшити собівартість виробів, що випускаються [2].

Основою автоматизації проектування технологічної оснастки (штампів та пресформ) є максимальна стандартизація та уніфікація їх елементів та проектних рішень [3].

Використання технологічних можливостей САПР Autodesk Inventor дає можливість створити моделі пластикових деталей та проектування пресформ для їх лиття на базі цих моделей із подальшим випробуванням елементів, перевіркою та аналізом кінцевого виливка на предмет якості та відповідності усім вимогам.

Метою автоматизації проектних робіт є, насамперед, скорочення тривалості проектування та зменшення витрат на проектування. Це дозволяє зменшити час на проектування та випробування розробленого оснащення ще на стадії підготовки виробництва. В цілому процес проектування можна охарактеризувати такими кроками (рис.1).

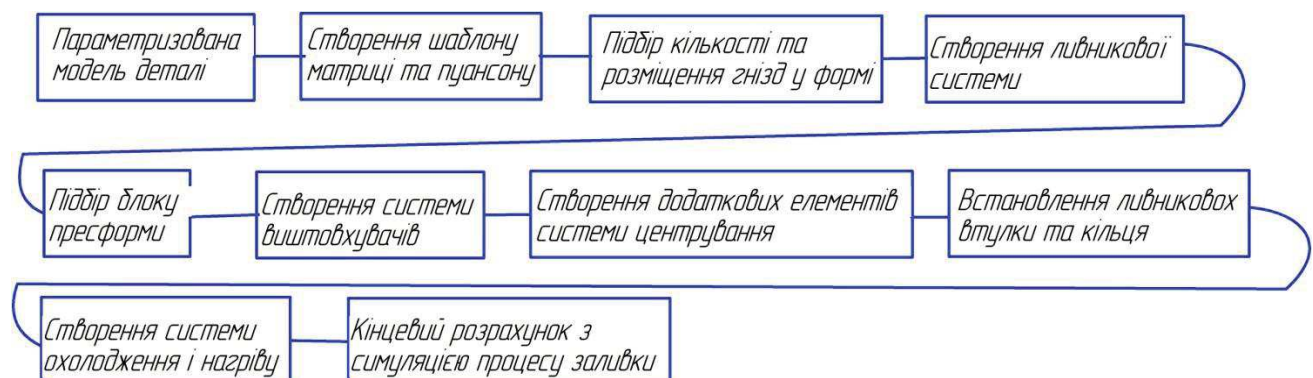


Рис.1. Блок-схема послідовності процесу розробки прес-форми

Раціональний поділ функцій під час автоматизованого проектування пресформ між людиною та програмою – одна із найважливіших проблем, яку вирішують при використанні ЕОМ для автоматизації проектно-конструкторських робіт. Залежно від проектного об'єкта, ступеня можливої формалізації процесу його проектування, наявної технічної та програмної бази, проектну задачу можна реалізувати різними шляхами, але наявність розвинутого програмного забезпечення зовсім не гарантує спрощення процесу проектування до натискання кількох кнопок та відсутність потреби у кваліфікованому і креативному мисленні з боку інженера. Проте середовище для проектування Autodesk Inventor дозволяє максимально спростити процес розробки оснащення і скоротити затрати часу.

Початковими даними для проектування пресформи служать:

- креслення деталі з технічними вимогами та відомостями про її призначення;
- матеріал, з якого виготовляють деталь, його властивості (важливу роль відіграють реологічні властивості);
- технічні характеристики обладнання (прес, термопластавтомат), на якому проводитимуть процес литва;

У процесі проектування вибирають раціональні конструкції, проводять перевірки на міцність та розробляють робочі креслення всіх деталей пресформи, прогнозують потенційну якість деталі.

Система Autodesk Inventor дозволяє виконувати такі операції:

- створення параметризованої моделі деталі;
- аналіз ухилів площин деталі;
- вибір матеріалу деталі з власної бази даних;
- автоматичний підбір та створення ливників та ливникових каналів;
- проектування блоків пресформ: систем "колонка-втулка", пази в плитах та транспортні деталі за даними бібліотеки;
- обчислення усадки поверхонь деталі залежно від виробничого матеріалу;
- розрахунок конструктивних розмірів матриці;
- проектування систем: фіксації, виштовхування деталі;
- підбір та розміщення кріпильних елементів на складальному кресленнику;
- розрахунок маси;
- проектування додаткових деталей типу плит (підкладок: нижня та верхня, пуансонотримач);
- прогнозування якості деталі;
- формування специфікації та ряд інших функцій.

У сукупності всі ці функції надають конструктору необмежені можливості в плані створення деталей та оснастки. При цьому відпадає необхідність у громіздких та надлишкових розрахунках, що займають багато часу. Навіть дрібна помилка в подібних розрахунках може призвести до викривлення кінцевого результату, а це тягне за собою втрати часу та ресурсів, тому САПР на даний час дозволяють уникнути подібних помилок, адже велика частина обчислень переноситься на машину. Крім того, велика база інженерних даних

дозволяє підібрати оптимальні рішення для конкретних задач, що дозволяє економити час.

Процес проектування пресформи можна розділити на три етапи. На першому здійснюється створення або імпортування параметризованої 3D-моделі деталі (рис.2), яку вилитимуть у пресформі та її всебічну перевірку на технологічність і відповідність усім технічним вимогам. Якщо у моделі нема помилок, то відбувається перехід на наступний етап - проектування самої пресформи на базі готової моделі деталі.

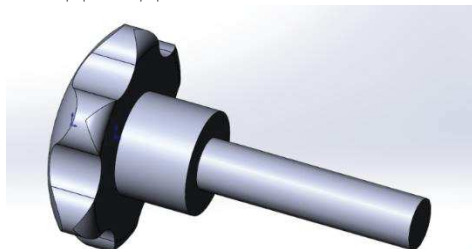


Рис.2. 3D модель деталі

Багато рутинних обчислень та підборів на другому етапі можна віддати самій програмі Autodesk Inventor (перевірка ухилів, розрахунок усадок, раціональні температурні параметри процесу лиття тощо). Проте це не означає, що конструктору необхідно натиснути пару кнопок, адже він повинен провести підбір взаємного розміщення гнізд в пресформі, типу та виду ливникової системи. Результатом даного етапу є отримання моделі блоку прес-форми у зборці (рис. 3) яку легко можна передати в кінцеві технологічні кресленики, а моделі використати як вихідні дані при розробці керуючих програм на верстатах із ЧПК.

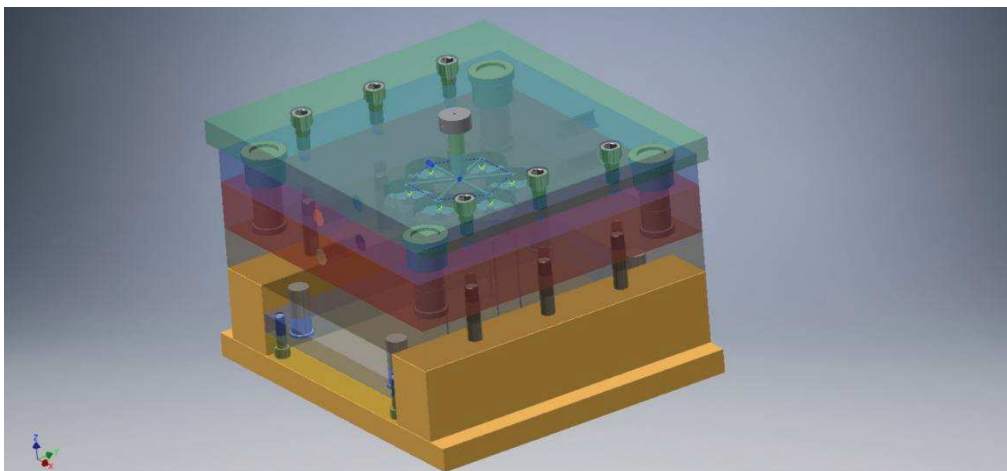


Рис.3. Загальний вигляд готового блоку прес-форм

Література:

1. Рыбаков А.В. Создание автоматизированных систем в машиностроении: [учеб.пособие] / Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Мелешина Г.А. - М. : Изд-во "станкин", 2001.-157с.
2. Суберляк О.В. технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. [для студ. внщ. навч. закл.] / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. -Львів : РАст-7, 2007. - 375с.
3. Видгоф Н.Б. Основы конструирования литьевых форм для термопластов / Н.Б. Видгоф. - М.:Машиностроение, 1979. -264с.

ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кирилович В.А., д.т.н, проф., Богданець А.І., магістрант
Житомирський державний технологічний університет

Для подальшого розвитку роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ) необхідним є створення методик для розв'язання ряду практично важливих техніко-економічних задач. Це дасть змогу виробникам та проектантам мінімізувати затрати часу на проектування / синтез роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ), мінімізувати потужності та інші ресурси, що впливають на собівартість виготовлення продукції в різних роботизованих технологічних структурах, наприклад, в гнучких виробничих комірах (ГВК) машино- та приладобудування, та підвищують ефективність РМСВ в цілому. Вказане відноситься і до вибору оптимальної за певним критерієм РМСТ із попередньо синтезованої і тому аналізованої їх (РМСТ) кінцевої множини.

Стислий зміст завдань, що розглядаються в даній роботі, зводиться до розрахунку системи техніко-економічних критеріїв (СТЕК), що виконуються на множині аналізованих вхідних даних.

Метою даної роботи є підвищення ефективності технологічної підготовки РМСВ на етапі вибору РМСТ при автоматизованому розрахунку складових СТЕК з врахуванням аналізованих методів визначення амортизаційних відрахувань балансової вартості промислових роботів (ПР) при експлуатації ГВК машино- та приладобудування.

Дані дослідження базуються на наступних особливостях розрахунку складових СТЕК:

- використовується раніше запропонована одним із співавторів СТЕК;
- амортизаційні відрахування визначаються на кінцевій множині найбільш поширених та відомих методів їх розрахунків;
- загалом виконувані розрахунки змістовно відтворюють особливості РМСВ в частині формування “роботизованої” складової технологічної собівартості випуску виробів на механоскладальних ГВК машино- та приладобудування.

Розрахунок техніко-економічних критеріїв виконується за трьома критеріями, що є ієрархічними складовими СТЕК (див. рис.1).

Перший критерій $F_1 (F_{opt} N_{зап})$ – це частина технологічної собівартості, що пов'язана з енергетичною складовою функціонування ПР з врахуванням умов його (ПР) експлуатації, а саме питома технологічна собівартість, що припадає на одиницю виготовлення виробів із партії випуску $N_{вип}$, яка вказує саме на “роботизовану” складову технологічної собівартості, що визначена наступними чинниками: балансовою вартістю ПР $C^{ПР}$, у.о.; споживаною потужністю P , кВт; фактично накопиченою тривалістю функціонування ПР Φ , год.; вартістю

1кВт*год електроенергії B , у.о./1кВт*год.; методом розрахунку амортизаційних відрахувань щодо залишкової вартості ПР A ; місячним окладом наладчика M , у.о./міс.; кількістю днів роботи наладчика t , днів, за аналізований плановий період T .

Другий критерій $F_{2.1}$ ($F_{opt_{T N_{i_{зап}}}}$) визначається для кожної i -ої партії запуску $N_{i_{зап}}$ із партії випуску $N_{вип}$, тобто $(N_{i_{зап}} | i = \overline{1, n_{i_{зап}}}) \in N_{вип}$, i є фактично першим критерієм F_1 з урахуванням економічної складової накопиченого часового ресурсу експлуатації ПР T^{PP} до початку випуску виробів з $N_{зап}$ або $N_{вип}$. Для всіх партій запуску отримані результати перераховуються на одиницю виробів партії випуску $N_{вип}$. Отриманий узагальнений критерій визначає частину “роботизованої” складової технологічної собівартості випуску одиниці продукції.

Третій критерій $F_{2.2}$ ($F_{opt_{T N_{зап}}}$) – це критерій оптимальності з урахуванням загальної кількості виробів в партії випуску $N_{вип}$, які виготовляються декількома партіями запуску $N_{зап}$, що фактично являє собою другий критерій $F_{2.1}$ з врахуванням часу на переналагодження ПР $T_{пер}^{PP}$ між партіями запуску.

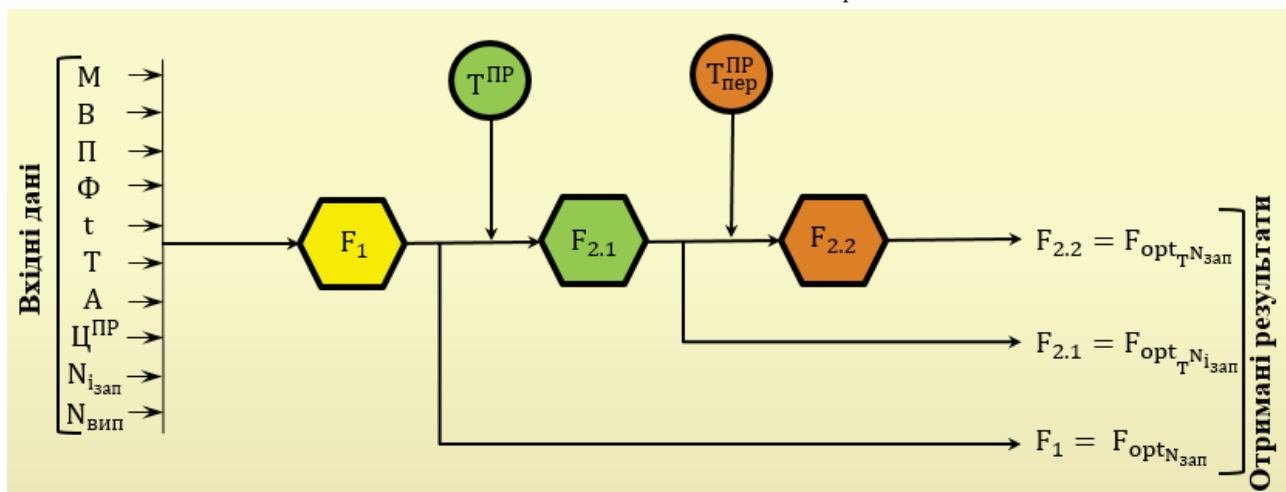


Рис.1. Ієрархія обчислюваних складових STEK

Кожна складова STEK розраховується для трьох методів амортизаційних відрахувань балансової вартості ПР, а саме: прямолінійного, методу прискореного зменшення залишкової вартості та кумулятивного.

Результати розрахунків вказаних критеріїв STEK візуалізовані стовпчастими діаграмами, що спрощує аналіз отриманих результатів та сприяє подальшому прийняттю користувачем обґрунтованих системних технологічних рішень щодо вибору оптимальної РМСТ за одним із критеріїв STEK.

Методика автоматизованого розрахунку складових STEK, що реалізована в MS Excel, дозволяє аналізувати отримані результати за показниками частини технологічної собівартості виготовлення продукції, яка зумовлена виключно використанням ПР.

На сьогодні в ЖДТУ розробляється програмне забезпечення автоматизованої реалізації розрахунку складових STEK на вказаній множині вхідних даних у вигляді автономного програмного продукту.

ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РІЗАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНСТРУМЕНТУ

Клименко Г.П., д.т.н., професор

Донбаська державна машинобудівна академія

При обробленні деталей на важких верстатах, а також на верстатах з ЧПК особливе значення набуває підвищення стабільності обробки, яке в значній мірі залежить від стабільності різальних властивостей збірних різців, яким присвячена наступна робота.

Для підвищення стабільності різальних властивостей інструменту твердосплавні пластини збірних різців були оброблені імпульсним магнітним полем [1, 2, 3]

Результати порівняльних експлуатаційних випробувань при обробці сталі 40Х наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експлуатаційних випробувань збірних різців при обробці сталі 40Х

Інструмент	Режими різання			Середній період стійкості, хв	Коефіцієнт варіації	γ -% -ний період стійкості T_p , хв	Параметри закону Вейбулла - Гнеденко	
	t , хв	S , мм/об	V , м/хв				a	b
T15K6	3	0,86	78	42	0,82	12,6	44	1,3
T15K6+ +ОІМП	3	0,86	78	48	0,47	24,5	55	2,25
T15K6+BO+ +ОІМП	3	0,86	78	52	0,36	27	59	3

Обробка імпульсним магнітним полем – це метод зміни фізико-механічних властивостей матеріалів, який використовується для підвищення зносостійкості і міцності матеріалів. При обробці імпульсним магнітним полем (ОІМП) здійснюється комплексний вплив на матеріали інструмента у вигляді магніострикційного впливу механічних деформацій, теплових і електромагнітних вихрових потоків. Дослідження структурних змін в кобальтовій фазі зразків твердого сплаву, оброблених імпульсним магнітним полем, проводилася методом рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрі ДРОН-3М. Реєструвалося положення дифракційного максимуму лінії кобальтової фази до і після обробки імпульсним магнітним полем. Зареєстровано зміщення максимуму в бік великих кутів. Це може бути пов'язано як зі зміною складу твердого розчину вольфраму і вуглецю в кобальті, так і зі зміною напруженого стану кристалічної решітки. Оскільки

руйнування твердого сплаву відбувається по (Ti, W)C - фазі, а кобальтова фаза може гальмувати розвиток руйнуючої тріщини, то стабільність структури кобальтової фази позначається на міцності і стабільності різальних властивостей інструменту. Підвищення міцності твердосплавного інструменту, обробленого імпульсним магнітним полем, підтверджене лабораторними випробуваннями різців методом руйнуючої подачі (таблиця 2), пояснюється зменшенням розтягуючих напружень в кобальтової фазі, що перешкоджає поширенню руйнуючих тріщин в кобальтової фазі твердого сплаву, тобто веде до підвищення його міцності.

Таблиця 2. Порівняльні випробування збірних різців (сталь 40X, $t = 8$ мм, діапазон подач 0,8-2,05 мм/об, швидкість різання 20м/хв)

Інструмент	Період стійкості T_p , хв		Коефіцієнт варіації, V_T	Руйнуюча подача, S_p мм/об
	середній $\overline{T_p}$	гамма-відсотковий T_γ		
T5K10	38	12	0,38	1,63
T5K10+ОІМП	42	14	0,25	2,05

Збільшення стабільності ріжучих властивостей твердого сплаву, про який свідчить зменшення коефіцієнта варіації стійкості і підвищення гамма - відсоткової стійкості інструменту, пов'язане з гомогенізацією кобальтової фази під впливом імпульсного магнітного поля. Застосування вібраобразивної обробки перед впливом магнітного поля посилює інтенсивність переходу напружень в кобальтовій фазі від розтягуючих до стискаючих і, отже, до підвищення міцності і стабільності ріжучих властивостей інструменту.

Література:

1. Клименко Г. П. Повышение надежности твердосплавных сборных резцов при обработке деталей на тяжелых станках / Г. П. Клименко, В. С. Майборода, А. Ю. Андронов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ-Київ, 2008. – Вип. 23. – С. 22–27.
2. Клименко Г. П. Определение показателей стабильности процесса обработки деталей на тяжелых станках / Г. П. Клименко, А. В. Хоменко // Резание и инструмент в технологических системах. – Х., 2009. – Вып. 77. – С. 95–101.
3. Клименко Г.П. Качество и надежность эксплуатации сборных твердосплавных инструментов / Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко, М.В. Шаповалов // Вісник НТУ «ХП» Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», Вип.34 (1310), 2018.- с.84-90.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

¹Копей Б.В. , *д.т.н., професор*, ¹Джус А.П. , *д.т.н., професор*,

²Гусарова І.А., *начальник відділу*, ²Роменська О.П., *інженер*

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

²Державне підприємство «Конструкторське бюро» Південне », Дніпро

Перспективними методами підвищення надійності нафтопроводів є використання полімерних композитів для виготовлення труб і виробів нафтового сортаменту. Відомо, що композити на основі вуглеволокон володіють найвищими питомими характеристиками міцності з усіх відомих матеріалів, завдяки їх низькій густині і високій міцності. Тому великий інтерес представляє розробка технології і виготовлення труб з вуглепластика, що дозволить значно знизити масу виробів і підвищити міцність їх при експлуатації.

Основним недоліком, що обмежує застосування вуглепластиків в нафтогазовій промисловості, є їх висока вартість. На ДП «КБ «Південне» застосовується технологія модифікування комерційного низькоміцного вуглецевого волокна обробкою в атмосферній плазмі з метою підвищення його характеристик.

В роботі досліджували вплив циклічних навантажень на зразки труб розміром $\text{Ø}28,5 \times 300 \times 2,5$ мм з вихідного матеріалу, а також модифікованого атмосферною плазмовою обробкою. Випробування проводили на лабораторному стенді, який призначений для створення циклічного внутрішнього тиску величиною до $P = 75$ МПа. З метою фіксації деформацій, що відбуваються в матеріалі при навантаженні, на трубу встановлювали тензодавачі (4 штуки – два робочих і 2 компенсуючих). Загальний вигляд зразка з двома робочими тензодавачами наведено на рисунку. Виконано 10000 циклів навантаження, як на модифікований зразок (рис.1) з перервою 5 хв після кожних 50 циклів, так і на зразок з вихідного матеріалу.



Рис.1. Зразок вуглепластикової труби з тензодавачами

В результаті проведених циклічних випробувань зразків втрати герметичності і руйнування матеріалу не виявлено. Подальші випробування проводили при підвищенні внутрішнього тиску до руйнування зразків труб. Зростання тиску створювали поступово з кроком 2,5 МПа. Таким чином, було встановлено максимальне значення руйнівного внутрішнього тиску (для вихідної труби: 22,5 МПа, для модифікованої: 27,5 МПа).

Аналізуючи показання тензодавачів, отримані значення руйнівних напружень в матеріалі, які складають: для вихідної труби ~ 130,5 МПа, а для модифікованої - 159,5 МПа.

Випробування аналогічних склопластикових труб показали, що їх руйнування відбувається при досягненні напруження 50-60 МПа, тобто міцність вуглепластикових труб більше ніж в 2 рази вище [1].

Література:

1. Насосні штанги та труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок, та випробування [Текст] / Б. В. Копей [та ін.] ; Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України, Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. - Л. : [б.в.], 2003. - 352 с.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДВООПОРНИХ МУФТОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ПУСТОТІЛИХ НАСОСНИХ ШТАНГ

¹Копей В.Б., *к.т.н., доцент*, ¹Онисько О.Р., *к.т.н., доцент*, ²Жигуц Ю.Ю., *д.т.н., професор*

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

²Державний вищий навчальний заклад "Ужгородський національний університет"

Основними проблемами застосування стандартних різьбових з'єднань насосних штанг є їх втомні поломки та самовідгвинчування [1]. З'єднання пустотілих штанг мають додаткову проблему - низьку герметичність. Відомі двоопорні конічні замкові з'єднання бурильних труб, які застосовуються в складних умовах буріння [2, 3]. У порівнянні з одноопорними вони дозволяють більший момент згвинчування, володіють більш рівномірним навантаженням на витки [2] та вищою герметичністю. В праці [3] доведено, що використання додаткового торця може покращити розподіл еквівалентних напружень по впадинам витків, але величини натягів на торцях повинні мати малий допуск. Великий натяг на внутрішньому торці може призвести до руйнування муфти [3]. Однак за розподілом еквівалентних напружень не можна робити висновок про втомну міцність з'єднання.

Метою праці є обґрунтування доцільності застосування двоопорних різьбових з'єднань пустотілих насосних штанг шляхом моделювання їх

напружено-деформованого стану методом скінченних елементів та обчислення значень коефіцієнта запасу втомної міцності за критерієм Сайнса (FOS).

В SOLIDWORKS розроблена параметрична геометрична модель з'єднання насосних штанг. Порівнювали стандартне з'єднання пустотілих штанг діаметром 25 мм та двоопорне з'єднання з конічною різьбою з кутом нахилу до осі $7,125^\circ$. Інші параметри двоопорного з'єднання відповідають стандартному. Осесиметричні скінченно-елементні моделі розроблено в SOLIDWORKS Simulation 2018. Матеріалом деталей є сталь з границею пружності 620 МПа та границею міцності 724 МПа з моделлю пластичності за Мізесом. Вибрано опцію великих деформацій (Large Strain Option). Створено глобальний контакт поверхонь без проникнення, а на упорних торцях - контакт "гаряча посадка" (Shrink Fit), що дозволяє моделювати натяги. Введено коефіцієнт тертя спокою поверхонь в умовах змащення 0,16. На нижньому торці муфти задано граничну умову симетрії, а на верхній торець ніпеля діє тиск, який утворює в тілі штанги напруження розтягу $p=0$ МПа (перший крок) та $p=150$ МПа (другий крок). Тип сітки "Blended curvature-based mesh", максимальний розмір елементів 2 мм, мінімальний 0,2 мм, мінімальна кількість елементів на колі 8, показник росту розміру елементів 1,1. Такі налаштування дозволяють отримати дрібну сітку в зоні різьби і велику в інших зонах.

В двоопорному з'єднанні розподіл еквівалентних напружень по витках різьби ніпеля більш рівномірний (рис. 1). За даними експлуатації найменшу втомну міцність мають зони А, В, С, D. В цих зонах розраховані FOS (рис. 2) для різних величин натягів $\Delta 1$ (перше число) і $\Delta 2$ (друге число). Стандартне з'єднання з натягом 60 мкм позначено як 60std.

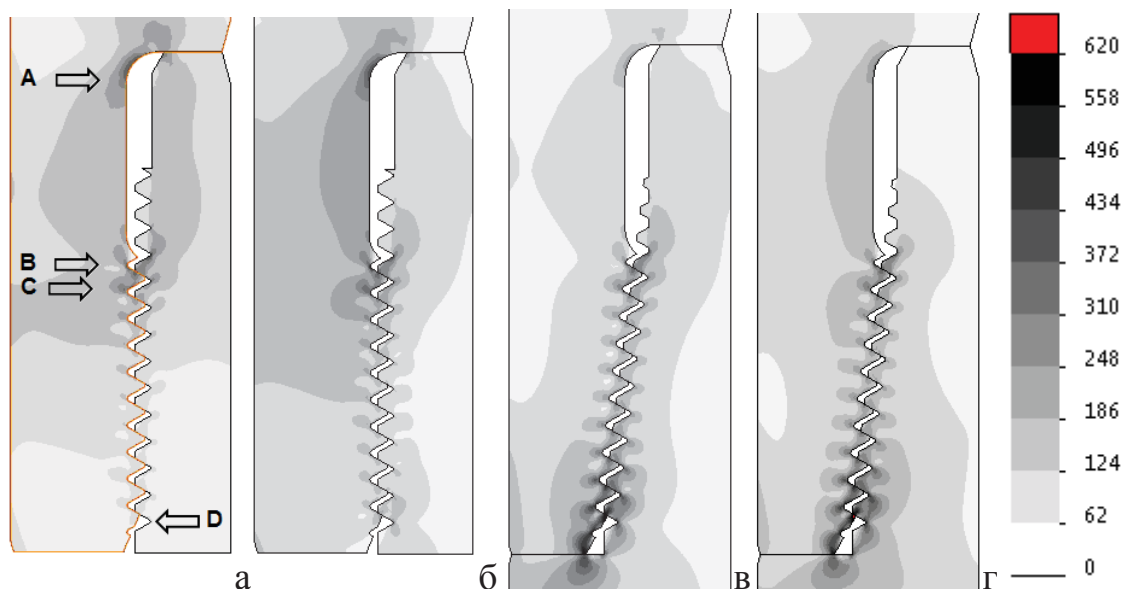


Рис.1. Напруження за критерієм Мізеса-Губера (МПа) в з'єднанні пустотілих штанг: а, б - стандартне з'єднання з $\Delta 1=0,06$ мм; в, г - конічне двоопорне з'єднання з $\Delta 1=\Delta 2=0,04$ мм; а, в - $p=0$ МПа; б, г - $p=150$ МПа

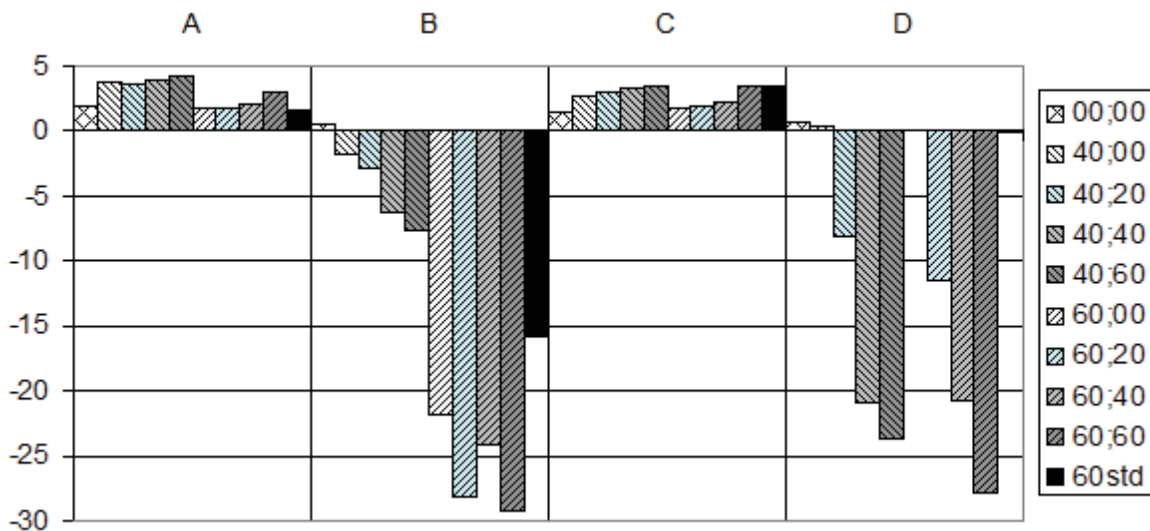


Рис.2. Значення FOS в небезпечних зонах з'єднання для різних величин натягів $\Delta 1, \Delta 2$ (мкм)

У незгвинченого з'єднання ($\Delta 1 = \Delta 2 = 0$) значення FOS в зонах А, С найменше, а в зонах В, D найбільше. Проте експлуатація незгвинченого з'єднання недопустима. Натяг $\Delta 1 = 0,06$ мм зменшує значення FOS в усіх зонах А, В, С, D (в зоні В суттєво) у порівнянні з натягом 0,04 мм. Отже, в даному випадку, оптимальне значення $\Delta 1$ потрібно шукати біля значення 0,04 мм.

Збільшення натягу $\Delta 2$ збільшує FOS в зонах А, С і різко зменшує його в зонах В, D. Більше це властиво для $\Delta 1 = 0,06$ мм. Найбільше зменшується FOS в зоні D. Збільшення натягу $\Delta 2$ може бути корисним для запобігання самовідгвинчування з'єднання і підвищення герметичності, але суттєво зменшує втомну міцність в зоні D, що вимагає застосування матеріалу муфти з більшою границею втомної міцності або додаткових конструктивних рішень для зменшення концентрації напружень в зонах В, D (зарізьбова канавка заданої довжини, зріз витків та ін. [1]). Найбільш перспективним є комплексне рішення – зарізьбова канавка, зріз (фаска) перших витків, попереднє деформування з'єднання високим моментом згвинчування [1].

Проаналізуємо переваги і недоліки наступних з'єднань: циліндричного і конічного, одноопорного і двоопорного, з зарізьбованими канавками і без них.

Перевагою конічних з'єднань є швидкість і зручність згвинчування. Недоліком є нижча втомна міцність ніпеля (рис. 2), що пояснюється зменшенням його діаметра в зоні торця. Втомна міцність муфти може бути вищою внаслідок збільшення її товщини в середній частині. Операції згвинчування-розгвинчування для насосних штанг виконуються не так часто, тому наявність конуса не є обов'язковою.

Недоліком двоопорного з'єднання є суттєва залежність втомної міцності від відношення натягів на зовнішньому і внутрішньому торцях. Це потребує малих допусків довжини ніпеля і глибини муфти. Необхідно також контролювати ці розміри перед згвинчуванням, оскільки торці можуть бути zdeформовані під час експлуатації. Для подолання цього недоліку в з'єднанні

можна застосовувати постійні пружні або змінні пластичні елементи, наприклад, пружні або пластичні шайби в зоні внутрішнього торця.

Збільшення довжини зарізьбових канавок призводить до зменшення концентрації напружень в зоні перших робочих витків різьби [1]. В двоопорних з'єднаннях необхідні зарізьбові канавки в ніпелі і муфті. Недолік - збільшення довжини ніпеля і муфти. Значна зміна довжини зарізьбової канавки вимагає зміни оптимальних величин натягів.

Оптимальними значеннями натягів в запропонованому з'єднанні можуть бути $\Delta 1=0,04\pm 0,01$, $\Delta 2=0,04^{+0,02}$. Вони забезпечують вищу втомну міцність ніпеля, ніж стандартне з'єднання, але їх застосування вимагає додаткового забезпечення втомної міцності муфти. Нові ніпелі можна застосувати для ремонту штанг шляхом приварювання їх до тіла. Двоопорні циліндричні з'єднання можна реалізувати без модифікації стандартного ніпеля, що значно спростить їх впровадження.

Література:

1. Копей, В.Б. Підвищення ресурсу штангової колони при видобутку парафіністих нафт [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12: захищена 16.11.04: затв. 09.03.05 / Копей Володимир Богданович. - Івано-Франківськ, 2004. - 175 с.

2. The NOV Grant Prideco™ GPDS connection [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/Grant_Prideco/Connection_Technologies/Grant_Prideco_Double_Shoulder_\(GPDS\)_connection.aspx](https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/Grant_Prideco/Connection_Technologies/Grant_Prideco_Double_Shoulder_(GPDS)_connection.aspx)

3. Аналіз сучасних конструкцій замкових з'єднань обважнених буриньних труб / В.І. Артим, О.Я. Фафлей, Р.О. Дейнега, В.В. Михайлюк // Нафтогазова енергетика. - 2017. - № 2(28). - С. 22-30.

ШНЕКОВИЙ ПАТРОН З ГВИНТОВИМИ ЗАТИСКНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Котик Р.М. аспірант, Маруніч О.П. аспірант

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Постійний розвиток техніки на сучасному етапі вимагає використання деталей, які є тонкостінними оболонками. В даний час їх кількість значно збільшується в загальній масі деталей, що піддаються механічній обробці. Разом із збільшенням частки тонкостінних виробів в загальній масі оброблюваних деталей, підвищуються і технічні вимоги до точності розмірів, шорсткості оболонкових поверхонь, форми і їх взаємного розташування, вимоги до якості поверхневого шару. Внаслідок основної особливості тонкостінних виробів – їх малої жорсткості, виконання цих вимог є досить складним завданням.

Для затиску тонкостінних виробів використовуються різного типу патрони, пристрої і оправки: багатокулачкові, з гофрованими затискними елементами, цангові розтискні оправки, оправки та патрони з оболонковими затискними елементами та ін. Окремо слід виділити гвинтові затискні пристрої (ГЗП) із пружними затискними елементами, до яких відносяться затискні патрони та оправки із гвинтовими елементами затиску, що в порівнянні із іншими є дешевшими у виготовленні та експлуатації. Проте їх розробленню і дослідженню приділено мало уваги, що потребує подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Шнековий патрон з затискними елементами рис.1 виконано у вигляді планшайби 1, яка з правого торця від шпинделя виконана у вигляді циліндра 2 з глухим центральним отвором 3. На зовнішній поверхні циліндра 2 нарізана різь, яка є у взаємодії з лівою 4 і правою 5 гайками, що з'єднані між собою болтами 6 і зафіксовані у визначеному місці контргайкою 7.

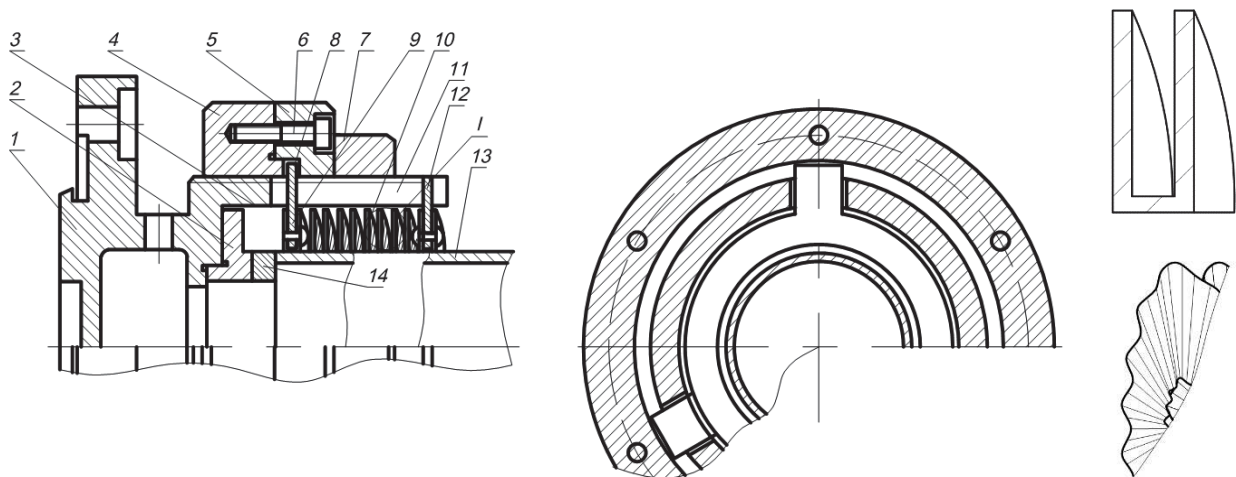


Рис.1. Шнековий гвинтовий патрон з затискними елементами

Між торцями гайок 4 і 5 виконана циліндрична канавка 8, яка є у взаємодії з поводковою шайбою 9, внутрішній діаметр якої є більшим внутрішнього діаметра шнека 10. Останній встановлено в центральний глухий отвір циліндра 2, причому лівий кінець шнека 10 жорстко з'єднано з поводковою шайбою 9, яка встановлена у внутрішній діаметр глухого центрального отвору з можливістю осьового переміщення. По зовнішньому діаметру останньої рівномірно по колу виконані, наприклад, три поводки, які є у взаємодії з косими пазами 11, які виконані на циліндричній поверхні циліндра 2 з можливістю осьового переміщення. Правий кінець шнека 10 жорстко закріплено до шайби 12, яка жорстко закріплена до правого торця циліндра 2, а внутрішній діаметр шайби 12 є більшим внутрішнього діаметра шнека 10. Останній внутрішнім діаметром є у взаємодії з зовнішнім діаметром заготовки 13 для її закріплення. Крім цього, у глухий отвір 3 циліндра 2 запресована втулка 14, яка є упором для базування заготовки 13. Характерною особливістю гвинтової затискної спіралі 10 є те, що вона виконана L-подібного профілю з внутрішньою циліндричною формою 11 є більшою зовнішнього діаметра заготовки 13. Крім

цього, до внутрішнього діаметра циліндричної форми 11 жорстко закріплена войлочна прокладка 14, яка внутрішнім діаметром є у взаємодії з зовнішнім діаметром заготовки 3, щоб її не деформувати.

Осьову силу P_0 , необхідну для деформації гвинтового затискного елемента, можна визначити за формулою:

$$P_0 = \frac{4\Delta h \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot D_1^2 \cdot i \cdot \left(\frac{\cos^2 \alpha}{Gl_p} + \frac{\sin^2 \alpha}{El_x} \right)} \quad (1)$$

де Δh - деформація гвинтового елемента в осьовому напрямку, мм; α - кут підйому витків гвинтового елемента, град; D_1 - початковий зовнішній діаметр ГЗЕ, мм; i - кількість витків ГЗЕ; G - модуль зсуву матеріалу ГЗЕ, МПа; E - модуль першого роду матеріалу ГЗЕ, МПа; l_p - полярний момент інерції поперечного перерізу ГЗЕ, мм⁴; l_x - осьовий момент інерції поперечного перерізу ГЗЕ, мм⁴.

Співвідношення між деформацією гвинтового елемента в осьовому напрямку Δh та деформацією δ в радіальному напрямку визначається за залежністю:

$$\delta = \frac{1}{2} \Delta h \cdot \sin \alpha \cdot \frac{2 \cdot El_x \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos 2\alpha \cdot Gl_p}{i \cdot \pi \cdot \cos \alpha (El_x \cdot \cos^2 \alpha + Gl_p \cdot \sin^2 \alpha)} \quad (2)$$

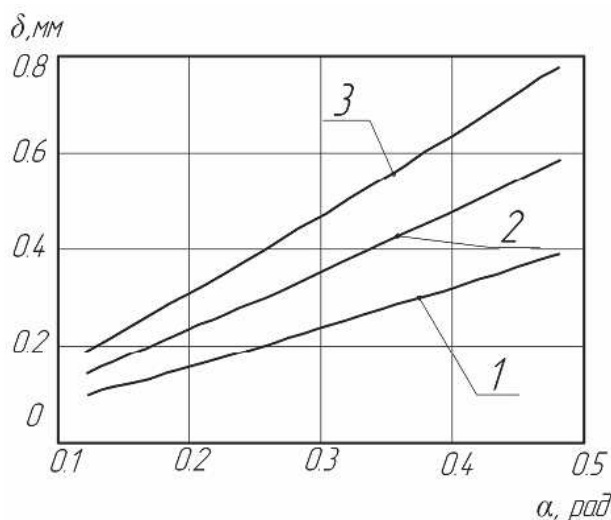


Рис. 2. Графік залежності деформації гвинтового елемента в радіальному напрямі від кута підйому витків:

- 1) $\Delta h = 20$ мм; 2) $\Delta h = 30$ мм;
3) $\Delta h = 40$ мм;

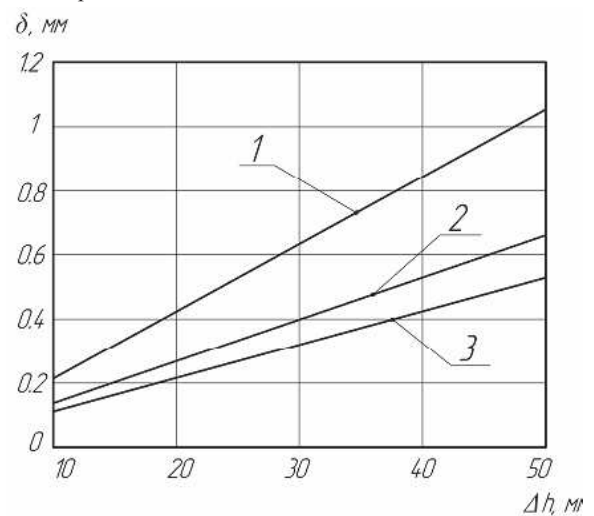


Рис. 3. Графік залежності деформації гвинтового елемента в радіальному напрямі від величини осьового ходу:

- 1) $i = 5$; 2) $i = 8$; 3) $i = 10$.

За результатами моделювання радіальної деформації ГЗЕ від кута нахилу витків (рис. 2) та величини осьової деформації (рис. 3) видно, що із збільшенням кута підйому гвинтової лінії затискного елемента і величини осьової деформації величина радіальної деформації збільшується, а із збільшенням кількості витків зменшується.

РОЛЬ РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ У ФОРМУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ВИЛИВКА

Кусий Я.М., к.т.н., доцент, Кузін О.А., к.т.н., доцент
Національний університет “Львівська політехніка”

Вибір методу литва та раціональна конструкція ливарної форми мають пріоритетний вплив на формування параметрів якості виробу, його експлуатаційних характеристик та показників надійності.

У той же час питання створення виробів із заданим життєвим циклом на етапі конструкторсько-технологічної підготовки ливарного виробництва з огляду на складність взаємозв'язків між конструктивними, технологічними параметрами виробу та показниками надійності, зокрема характеристиками безвідмовності та довговічності, вивчені недостатньо.

Важливим завданням, що суттєво впливає на параметри якості отриманих заготовок, є оптимізація конструкції виливків і проектування ливникових систем. Раціональне підведення та заповнення рідким металом форми забезпечує режими охолодження, що формують необхідні службові параметри виливка.

В роботі досліджували вплив конструктивних елементів виливка на формування технологічної пошкоджуваності, як параметра безвідмовності виробів.

В піщану форму було відлито заготовку 165x155x22 мм з матеріалу АК21М2,5Н2,5 ГОСТ 1853-93 (рис. 1), яку після кристалізації було розділено на три зразки: з малим і великим випорами та ливником.

Торцеві сторони зразків оброблялися на універсально-фрезерному верстаті мод. 676 ($t=0,2-2$ мм; $S_{хв.}=42$ мм/хв; $n=640$ хв⁻¹) кінцевою фрезою $\varnothing 45$ мм ($z=2$), причому було проведено дві серії механічного оброблення, після кожної з яких здійснювався контроль параметрів поверхневого шару.

Параметром, що інтегрально характеризує стан матеріалу під час оцінювання результатів контролю твердості, є однорідність, що описується коефіцієнтом гомогенності Вейбулла (m) [1,2]. Коефіцієнт гомогенності Вейбулла розраховують згідно математичних залежностей [1-3].

Для оцінки безвідмовності виробу запропоновано параметр технологічної пошкоджуваності W , яку оцінювали за формулою [4] :

$$W = \frac{m_{\max} - m_i}{m_{\max}}, \quad (1)$$

де m_i – значення коефіцієнта Вейбулла на i -й лінії (площині) вимірювань; m_{\max} – максимальне значення коефіцієнта Вейбулла для серії вимірювань.

Після механічного оброблення вимірювали твердість у п'яти перерізах (по 30 значень) на відстанях 2, 4, 7, 12, 17 мм від поверхні виливка. Вимірювання здійснювали для зразків 1, 2 (рис. 1) на приладі ТР-5006 ГОСТ 23677-79 по шкалі Н за допомогою кульки $\varnothing 3,175$ з навантаженням 588,4 Н.

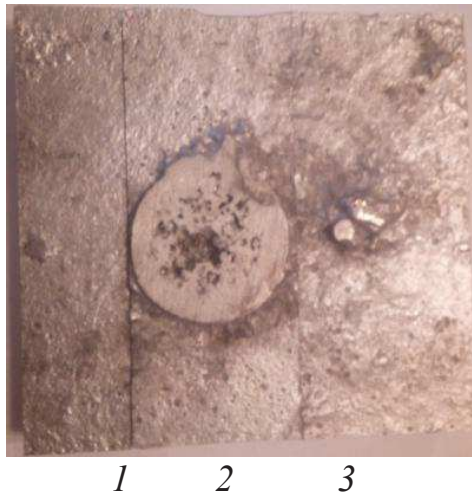


Рис.1. Зразки для експериментальних досліджень:
1- з малим випором; 2 - з ливником; 3 - з великим випором

За результатами досліджень було розраховано коефіцієнт гомогенності Вейбулла (m) за формулою [1-3] і пошкоджуваність матеріалу вилівка W за формулою (1) в середовищі Mathcad 15. Зміна коефіцієнта гомогенності m і пошкоджуваності W по товщині заготовки приведена на рис. 2.

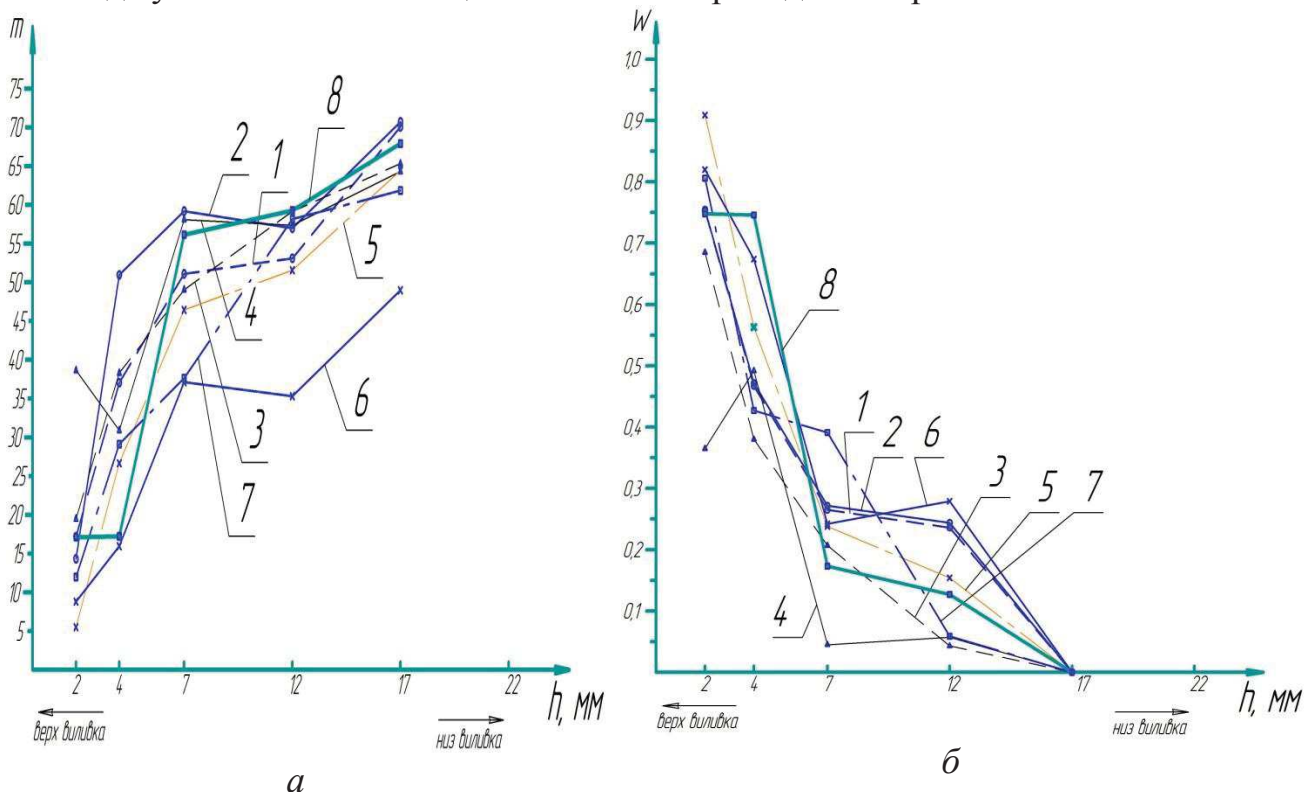


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта гомогенності m (а) і пошкоджуваності матеріалу W (б) по висоті для зразків 1 і 2 (рис. 1):
1, 2 – від випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно;
3, 4 - з протилежного торця від випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно;
5, 6 – для ливника зі сторони випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно;
7, 8 - для ливника зі сторони випора великого для першої та другої серії дослідів

Результати експериментальних досліджень структури та пошкоджуваності литої заготовки показали.

1. Максимальна кількість технологічних пошкоджень характерна для зон матеріалу на глибині до 2 мм від поверхні для зразка із ливником: в більшій мірі – зі сторони малого випора, в меншій – зі сторони великого випора. Це пояснюється специфікою процесу затверднення матеріалу, наявністю домішок, неоднорідностей у поверхневому шарі та раковини, зміщеної від осі симетрії у сторону малого випора, і підтверджується найменшими значеннями коефіцієнта гомогенності Вейбулла (m), а також найбільшими значеннями пошкоджуваності W . Для зразка із малим випором коефіцієнти гомогенності Вейбулла (m) є більші, а значення пошкоджуваності W є менші, що пояснюється зростанням віддалі від ливника.

2. При переміщенні вглиб матеріалу від 2 до 4 мм спостерігається стабілізація пошкоджуваності для зразка з малим випором для першої та другої серії дослідів. У той же час в перерізі зі сторони від ливника пошкоджуваність є вищою, що свідчить про вплив елементів конструкції форми на розподіл домішок і неоднорідностей по перерізу вилівка. Для зразка із ливником пошкоджуваність зростає при переміщенні до усадкової раковини (друга серія дослідів).

3. На глибині заготовки від 4 до 17 мм відбувається стабілізації значень пошкоджуваності, що підтверджується зростанням значень коефіцієнта гомогенності Вейбулла (m) і наближенням їх до перерізу із найшвидшим застиганням розплаву. Однак для перерізу ливника зі сторони малого випора переміщення до центру ливника (друга серія дослідів) супроводжується зменшенням значень коефіцієнта гомогенності Вейбулла (m) у цих перерізах, що пояснюється впливом раковини на формування домішок та фізичних і хімічних неоднорідностей структури.

Література:

1. Лебедев, А.А. Метод диагностики состояния материала по параметрам рассеяния характеристик твердости [Текст] / А.А. Лебедев, Н.Р. Музыка, Н.Л. Волчек. // Завод. лаб. – 2003. – № 12. – С. 49–51.

2. Lebedev, A. A. A new method of assesment of material degradation during its operating time [Text] / A. A. Lebedev, N. R. Muzyka, N. L. Volchek // Zaliznychnyi Transport Ukrainy. – 2003. – Vol. 5. – P. 30–33.

3. Кусий, Я. М. Вплив технологічного маршруту оброблення на формування міжзеренної пошкоджуваності виливків [Текст] / Я. М. Кусий, О.А. Кузін, М.О. Кузін / Східно-Європейський журнал передових технологій». – 2016. – Т. 1, № 5 (79). – С. 39–47. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59845.

4. Kuzin, O. Analysis of technological damageability of castings manufactured in sand molds [Text] / O. Kuzin, J. Kusyj, N. Kuzin // Technology audit and production reserves. - 2017. - № 3(1). - P. 17-23. doi: 10.15587/2312-8372.2017.103821.

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Кустов В.В., к.т.н., Бечкало В.І., магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Надійність і довговічність нафтогазового обладнання в значній мірі визначається тим, наскільки вказаним критеріям якості відповідають деталі, з яких складається це обладнання. Працюючи в умовах високих питомих тисків і швидкостей переміщення поверхонь тертя, циклічності навантаження абразивності і корозійної агресивності середовища, вони потребують комплексного захисту, оскільки на деталі діють одночасно декілька руйнівних факторів.

Практика показує, що одним із ефективних засобів такого захисту є покриття, які наносяться на поверхні виробу різними методами з використанням металів та їх сплавів, оксидів, боридів, нітридів та інших матеріалів з покращеними властивостями. При цьому можна підвищувати не тільки стійкість основного металу до різного роду спрацювань, але і відновлювати геометричні характеристики деталей.

Сфера використання захисних покриттів з кожним роком розширюється внаслідок впровадження у виробництво результатів широкого кола досліджень як нових, так і вдосконалених відомих способів отримання покриттів та технологічних процесів їх практичної реалізації.

Оскільки традиційні методи отримання покриттів в певній мірі вичерпують свої можливості в напрямку створення ефективного захисту від зношування, корозії тощо, а також в напрямку подальшого підвищення їх якості та продуктивності процесів їх формування, то все ширше звертається увага науковців на розробку та дослідження комплексних методів отримання покриттів, які дозволяють реалізувати вказані вище напрямки їх функціонального вдосконалення.

Один з таких методів розроблено нами і суть його полягає у суміщенні процесів електродугового напилення композиційних покриттів та обробкою їх іскровими розрядами. Таке поєднання зазначених способів формування покриттів дозволяє одержувати нові або суттєво покращені існуючі показники якості поверхонь деталей, на які покриття наносяться, наприклад – міцність зчеплення з основою, шорсткість, твердість, пористість, залишкові напруження та інші.

Проведенні дослідження показали перспективність застосування розробленого комплексного методу створення композиційних покриттів для зміцнення робочих поверхонь деталей нафтогазового обладнання, таких як бурові замки, штоки бурових насосів, втулки відцентрованих насосів, підвищуючи їх зносостійкість та забезпечуючи необхідну точність розмірів, оптимальні значення шорсткості поверхонь, пористості, мікротвердості, внутрішніх напружень.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ ЗУБІВ ОБКАТНОГО РОЛИКА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БАГАТОЗАХІДНОЇ РІЗЬБИ ХОДОВОГО ГВИНТА БУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Кіяновський М.В., *д.т.н., професор*, Цивінда Н.І., *к.т.н., доцент*,
Чернявська О.В. *ст.викладач*
Криворізький національний університет

Складні гірничотехнічні умови розробки руди на Криворіжжі визначають застосування різноманітних за конструктивним виконанням і технологій систем розробки, а вони, в свою чергу, визначають широту діапазону необхідних конструкцій і типорозмірів машин та технологій їх отримання [1].

Вимоги підвищення надійності та довговічності деталей бурового обладнання, які стоять перед сучасною конструкторсько-технологічною підготовкою, незмінно зростають у зв'язку з постійним збільшенням швидкостей та питомих навантажень.

Використання високоміцних матеріалів для відповідальних деталей конструкцій забезпечують зменшення маси та підвищення техніко-економічних показників сучасних машин. Але досягнення високої міцності металів супроводжується різким уповільненням зростання їх межі витривалості. Руйнування деталі при експлуатуванні, як правило, починається з поверхні. Це пояснюється тим, що поверхневі шари виявляються найбільш напруженими, являються межею розподілу фаз і піддаються активному впливу зовнішнього середовища. Звідси витікає необхідність поліпшення фізико-механічних характеристик металу і геометрії робочих поверхонь деталей [2].

Одним з найбільш економічних та ефективних видів зміцнення є поверхнево-пластичне деформування (ППД). Це дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості конструкційних матеріалів в реальних деталях, особливо складної форми (з концентраторами напружень). До таких деталей відноситься ходовий гвинт бурового обладнання.

Незважаючи на велику кількість досліджень в цьому напрямі, враховуючи складність профілю різьби ходового гвинта питання забезпечення довговічності та експлуатаційної надійності бурового обладнання залишається достатньо актуальним, тому метою роботи є вибір раціонального способу різьбоформування та розрахунок основних параметрів різьби та обкатного ролика.

Визначаємо профіль зубів обкатного ролика аналітичним методом (за допомогою координат). Креслимо картину сполучення (дотику) двох профілів при довільному положенні обробки. Визначення профілю виконується в прямокутній системі координат $x O_u Y$. В початковий момент обкатування профіль нарізи і профіль ролика торкаються в полюсі P . При повороті деталі на деякий кут φ ролик повернеться на кут $\varphi_u = \lambda \varphi$, (де $\lambda = r_l / r_n$ - коефіцієнт співвідношення розмірів виробу і ролика) (рис.1).

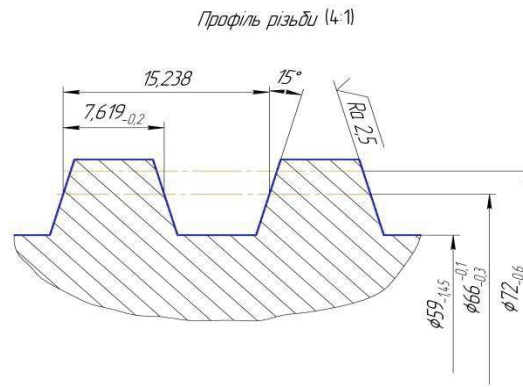


Рис.1. Профіль різьби ходового гвинта

Для побудови профілю визначаємо координати X та Y декількох точок на профілі зуба при різних значеннях φ – кута повороту ролика і виробу в межах від φ_{min} до φ_{max} .

Рівняння профілю ролика в прямокутній системі координат з початку в центрі ролика O_u та віссю $O_u Y$, яка проходить через точку перетину профілю з його початковим колом:

$$x = r_u \times \left\{ \sin \varphi_u - \lambda \left[\sin \left(\frac{\varphi_u}{\lambda} + \gamma \right) - \sin \gamma \right] \times \cos \left(\frac{1 + \lambda}{\lambda} \varphi_u + \gamma \right) \right\}$$

$$y = r_u \times \left\{ \cos \varphi_u + \lambda \left[\sin \left(\frac{\varphi_u}{\lambda} + \gamma \right) - \sin \gamma \right] \times \sin \left(\frac{1 + \lambda}{\lambda} \varphi_u + \gamma \right) \right\}$$

де $\gamma = 15^\circ$ – кут профілю нарізі;

$$\lambda = \frac{r_1}{r_u} = \frac{35,1036}{59,90635} = 0,5859746$$

де φ_u – кут повороту ролика від початкового положення.

Мінімальне значення цього кутового параметра $\varphi_{u \min} = \lambda \varphi_{1 \min}$

$$\sin(\varphi_{1 \min} + \gamma) = \frac{r_1 + r_u}{r_1 + 2r_u} \sin \gamma = \frac{35,1036 + 59,90635}{35,1036 + 2 \times 59,90635} \sin 15^\circ = 0,1587333$$

Максимальне значення кутового параметра $\varphi_{u \max} = \lambda \varphi_{1 \max}$

$$\begin{aligned} \sin(\varphi_{1 \max} + \gamma) &= \frac{(1 + \lambda) \sin \gamma + \sqrt{\sin^2 \gamma + \eta(\lambda + 2)(2 + \eta\lambda)}}{2 + 0,5859746} = \\ &= \frac{(1 + 0,5859746) \sin 15^\circ +}{2 + 0,5859746} + \\ &+ \frac{\sqrt{\sin^2 15^\circ + 0,1596304(0,5859746 + 2)(2 + 0,1596304 \times 0,5859746)}}{2 + 0,5859746} = 0,531 \end{aligned}$$

де η – коефіцієнт висоти ніжки профілю виробу

$$\eta = 1 - \frac{R_{i1}}{r_1} = 1 - \frac{59}{2 \times 35,1036} = 0,1596304$$

де R_{il} – внутрішній радіус різьби.

Маємо:

$$d_{1\min} = 9,133377^0 - 15^0 = - 5,866623$$

$$d_{1\max} = 32,1336^0 - 15^0 = 17,1336$$

Таблиця 1. Визначення координат точок в залежності від кута повороту ролика та виробу

φ_1	φ_u	X, мм	Y, мм
$-5,866623^0$	$- 3,437692^0$	$- 0,0961377$	59,449899
0^0	0^0	0^0	59,90635
5^0	$2,929873^0$	0,3721262	60,965949
10^0	$5,859746^0$	1,180191	62,542696
15^0	$8,789619^0$	2,5550237	64,506636
$17,1336^0$	$10,039854^0$	3,3393596	65,4247875

За знайденими координатами X та Y будуюмо профіль зуба ролика (рис.2).

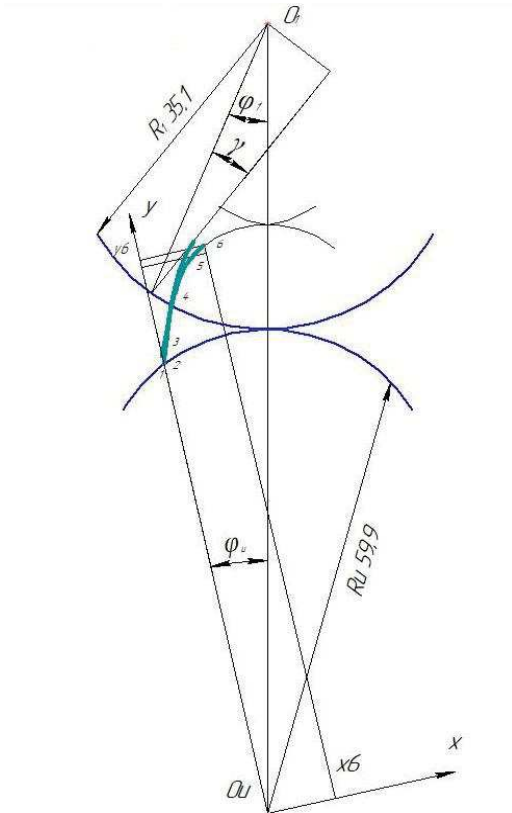


Рис.2. Визначення профілю зуба ролика М 2.5:1

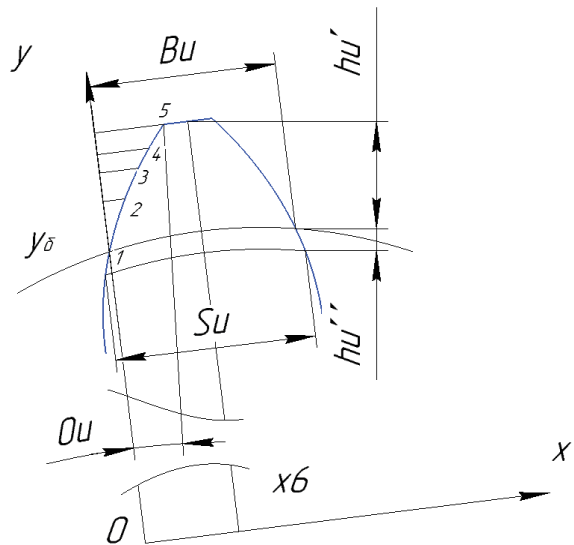


Рис.3. Профіль зуба ролика в нормальному перерізі М 2.5:1

Визначаємо розміри зуба ролика:

Висота головки зуба

$$h'_u = h''_1 = 5,6 \text{ мм,}$$

$$\text{де } h''_1 = \frac{70,2 - 59}{2} = 5,6 \text{ мм}$$

Висота ніжки зуба

$$h''_u = h_1 + (0,1 \dots 0,15) = 1 \text{ мм,}$$

$$\text{де } h'_1 = \frac{72 - 70,2}{2} = 0,9 \text{ мм}$$

Ширина зуба по дузі початкового кола

$$S_u = S_{en1} = 5,4422442 \text{ мм}$$

Ширина зуба по хорді початкового кола

$$B_u = 2r_u \sin \theta_u / 2 = 259,90635 \sin 0,0908458/2 = 5,4403352 \text{ мм},$$

де θ_u – центральний кут зуба ролика за початковим колом:

$$\theta_u = \frac{S_u}{r_u} = \frac{5,4422442}{59,90635} = 0,0908458 \text{ рад}$$

Висновок: Отриманий теоретичний профіль зуба ролика дозволить спростити виготовлення ролика шляхом заміни теоретичного профіля зуба дугою кола. В результаті будуть отримані геометричні розміри обкатного ролика.

Література:

1. Равская Н.С. Основы формообразования поверхностей при механической обработке / Н.С.Равська, П.Р.Родін, Т.П.Ніколаєнко, П.П.Мельничук. – Житомир: ЖИТИ, 2000. – 169 с
2. Бегагоен И.А. Повышение точности и долговечности буровых машин / И.А.Бегагоен, А.И. Бойко М.: Недра, 1986 – 213с.
3. Цивінда Н.І., Чернявська О.В., Лаухіна Л.І., Пікільняк А.В., Чумаченко О.О. Забезпечення довговічності та експлуатаційної надійності бурового обладнання методами інноваційної технології/ Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. Т2. - Кривой Рог, 2017, м. Кривий Ріг, С.67-74

СТВОРЕННЯ ІДЕНТИЧНИХ УМОВ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНО-ПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ

Лещенко О. І., к.т.н., доцент

Приазовський державний технічний університет, Маріуполь

Статистика машинобудівних заводів показує, що в технології обробки фасонних поверхонь ще є питання, пов'язані з методами досягнення необхідної точності. До них можна віднести проблему створення ідентичних умов різання на різних ділянках складно-профільної поверхні при обробці одним або декількома інструментами. Вирішення цієї проблеми пов'язано не тільки з досягненням однаковою стійкості інструменту, але і з якістю поверхні, її точністю і шорсткістю.

Обробка поверхонь на верстатах з ЧПК вимагає розрахунку траєкторій переміщення інструменту при обраній стратегії формоутворення. Під стратегією розуміється послідовність, що не суперечить технологічному процесу, застосування ріжучих інструментів встановленого типу і траєкторії їх переміщення, котрі дозволяють отримати необхідну форму і задану точність поверхонь деталі з необхідними показниками якості. Основою побудови

стратегій, які пропонують сучасні САМ системи є умова теоретичного торкання в момент формоутворення поверхонь ріжучого інструменту і деталі. Разом з тим, ідентичність умов обробки порушується зміною напрямку дії сил різання [1], а отже і пружним віджиманням інструменту. Саме ця особливість робить необхідним призначення технологом різних коректорів в керуючій програмі на поверхні однакової геометрії, але з різним напрямком векторних значень сил різання при їх обробці.

Домогтися ідентичності умов різання або монотонності їх зміни можна шляхом побудови відповідної траєкторії формоутворення або вибором геометрії пластини ріжучого інструменту.

Метою проведеного дослідження (рис. 1) є визначення характеру зміни сили різання при експериментальному точінні сферичної поверхні (матеріал Ст. 50ХН) радіусом $R = 60$ мм різцями з пластинами Т15К6: а - стандартною змінною, круглою $2 \cdot r = \varnothing 9.525$ мм; б - стандартною з кутом при вершині і кутами в плані 60° . Обробка проводилась з однаковими режимами різання на токарному верстаті 16К20 із ЧПУ FMS-3100: з постійною швидкістю різання $V = 110$ м/хв., глибиною різання $t = 0.3$ мм і контурною подачею $F = 0.2$ мм/об.

Для обох різців зроблені однакові поперечні перетини державки $b \times h$, до нижньої площини якої (оброблена до Ra 1.6) приклеєний тензорезистор з базовою довжиною чутливого елемента 10 мм, встановлений паралельно основній площині і перпендикулярно до осі деталі (перетин А-А). В процесі обробки тензорезистор фіксує пружну деформацію державки різця, пропорційну силі різання. Аналоговий сигнал, що знімається з тензорезистора 1, після підсилювача 2 і перетворення в цифровий код (АЦП) 3 надходить в послідовний порт персонального комп'ютера.

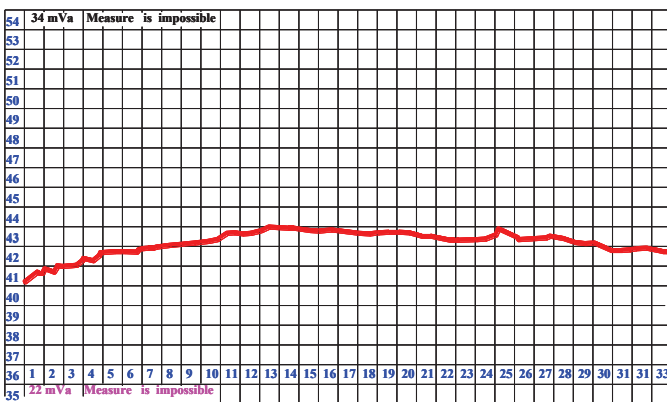
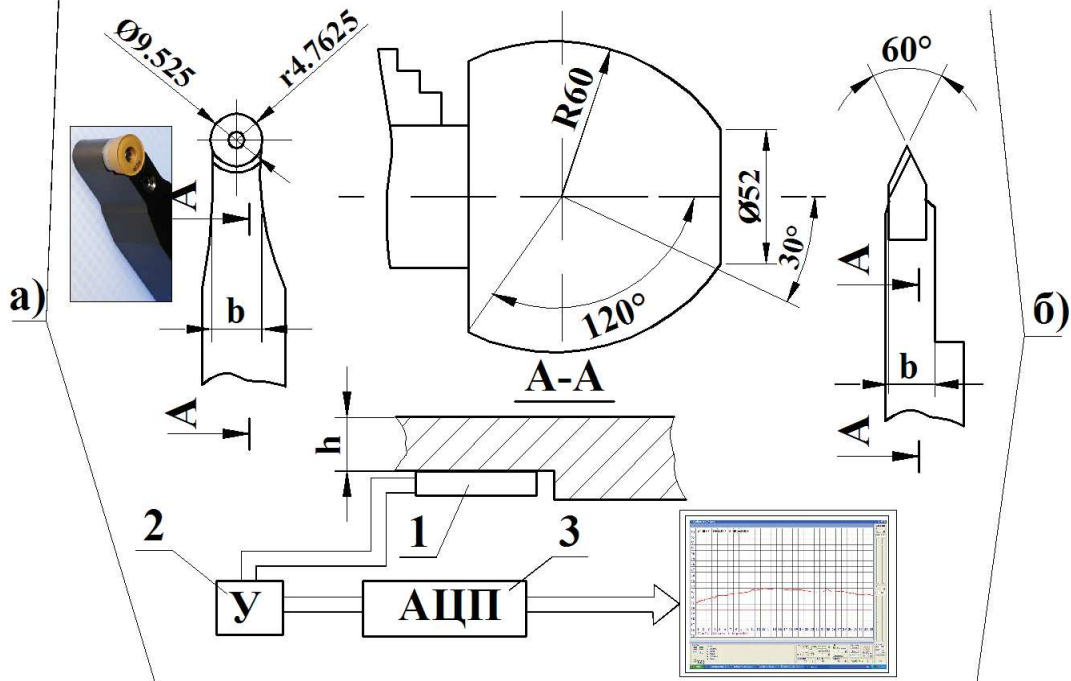
З метою отримання розкладу (рис. 1, а, б) зміни деформацій і відповідних їм сил різання оцифрований сигнал обробляється програмою "віртуальний осцилограф RadioMaste". Програмними настройками встановлено сканування і відображення на розкладі параметрів вхідного сигналу через кожні 4 сек., при основному часі обробки в межах 2.5 хв.

Точіння сферичної опуклої поверхні радіуса R починається з діаметра $\varnothing 52$ мм, в напрямку зміни кутової координати $t = 30^\circ \dots 60^\circ \dots 120^\circ$. При цьому головні кінематичні кути в плані різців з круглою пластиною залишаються практично постійними. Разом з тим, кінематичні кути в плані для різців з кутом при вершині 60° суттєво змінюється.

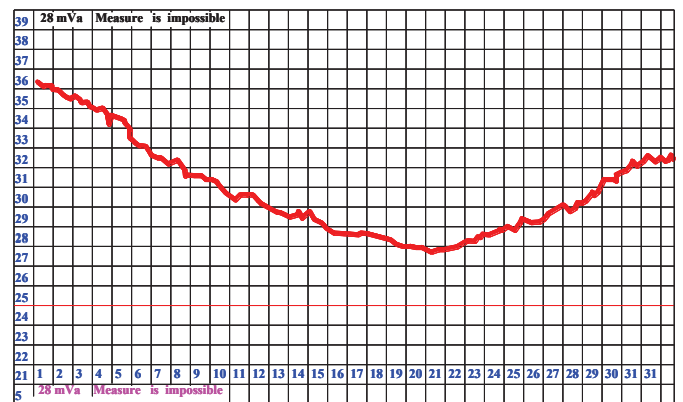
Як показує осцилограма (рис. 1, а), при обробці круглими пластинами коливання пружної деформації державки знаходилося в межах 6.3%, при цьому максимальне значення деформації, а отже і сили різання, спостерігалось при обробці поверхні з кутовою координатою, близькою до 90° , що пов'язано з геометрією створення переднього і заднього кутів [2] ріжучої пластини цього типу.

При обробці пластинами з кутом при вершині в плані 60° коливання пружної деформації державки, а отже і сили різання, знаходилося в межах 24.9% (рис. 1, б). Це пов'язано, перш за все, зі зміною кінематичних кутів різця в плані і, як наслідок, ширини зрізу, який має максимальне значення в області з кутовою координатою $t = 30^\circ$. В процесі точіння по мірі зміни кутової координати

головний кут в плані збільшується, зусилля різання знижується до певних меж. При зміні кута в плані більше 60° зусилля різання починає збільшуватися.



а)



б)

Рис. 1. Зміна сили різання при обробці поверхні $R = 60$ мм різцями:
а) - з круглою пластиною $\text{Ø}9.525$; б) - з кутом при вершині в плані 60°

Результати експерименту наочно показують, що в порівнянні з обробкою багатограними пластинами обробка круглими пластинами більш сприяє створенню ідентичних умов різання по всьому фасонному профілю. Крім цього при досить жорсткій заготовці менший кут в плані круглих пластин знижує теплове і силове навантаження на одиницю довжини головної ріжучої кромки, тим самим підвищуючи міцність ріжучої кромки і покращуючи умови різання. Слід зазначити, що при збільшенні кутів в плані до межі, що не викликають появу вібрації при обробці, шорсткість поверхні знижується.

Отже, можна зробити висновок, що стабілізація кутів різця в плані підвищує не тільки макро, але і мікрогеометричну точність поверхонь деталей. Подальші дослідження в цьому питанні пов'язані з оптимізацією геометрії передньої і задньої поверхонь круглих пластин з точки зору утворення однакових кінематичних кутів у процесі різання.

Література:

1. Бобров Б. Ф. Основы теории резания металлов. / Б. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 335 с.

2. Лещенко О. І. Способ токарной обработки на станках с ЧПУ резцами с неперетачиваемыми пластинками круглой формы. / О. І. Лещенко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - Вып. 30. - С. 102-107.

3-ВИМІРНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА В12

Лукань Т.В., асистент, Лейбюк Т.Т., студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Моделювання механічних засобів, механізмів, агрегатів та машин у середовищі 3-вимірного проектування SolidWorks спрямоване на отримання простих геометричних моделей, моделей з глибокою проробкою фізичної взаємодії між твердотільними деталями, що є частинами згаданих об'єктів, та між твердими тілами та рідинами чи газом в умовах як кімнатної температури, так і при температурах згорання органічного палива.

Проект складної машини, наприклад, двигуна внутрішнього згорання із застосуванням САД–моделювання може містити такі складові частини:

– власне геометричне моделювання та анімація на основі геометричного моделювання;

– моделювання із застосуванням загальних законів динаміки;

– моделювання із застосуванням термодинаміки;

– моделювання із застосуванням гідромеханіки та ін..

У цій роботі продемонстровано перші дві складові: параметризована геометрична статика та анімація на її основі з елементами певних кінематичних розрахунків.

На рисунку 1 показано модель 12-циліндрового дизельного двигуна із застосуванням розрізу, який виконано у площині, перпендикулярній до осі колінчатого вала.



Рис.1. Модель 12-циліндрового дизеля із розрізом у площині, перпендикулярній до осі колінчатого вала.

Модель свідчить про те, що вона містить у повному складі деталі газорозподільного та кривошипно-шатунного механізмів, а також систем охолодження, живлення та змащення.

Дана модель мотору містить в собі 12 циліндрів, на кожний з яких припадає по чотири клапани: два впуску і два випуску. У цілому вона складається із 540 деталей.

Найскладнішими деталями з точки зору твердотілого моделювання виявилися корпусні деталі, а серед них особливо блок циліндрів із картером, від яких саме і залежить весь подальший хід процесу моделювання.

У моделі передбачено канали охолодження і їх повна відповідність під час стикування окремих частин: блок – картер – головка.

У процесі моделювання головок було вирішено ряд проблем щодо правильного розміщення форсунок і свічок розпалу, а також щодо загальних каналів охолодження і їхньою взаємодією з каналами охолодження картера.

Задля виявлення можливих інтерференцій та підготовки моделі до динамічного аналізу у роботі застосовано анімаційне твердотіле моделювання.

Модель повністю імітує реальний дизельний двигун (рисунок 2) з турбінними нагнітачами повітря, але без навісних агрегатів.

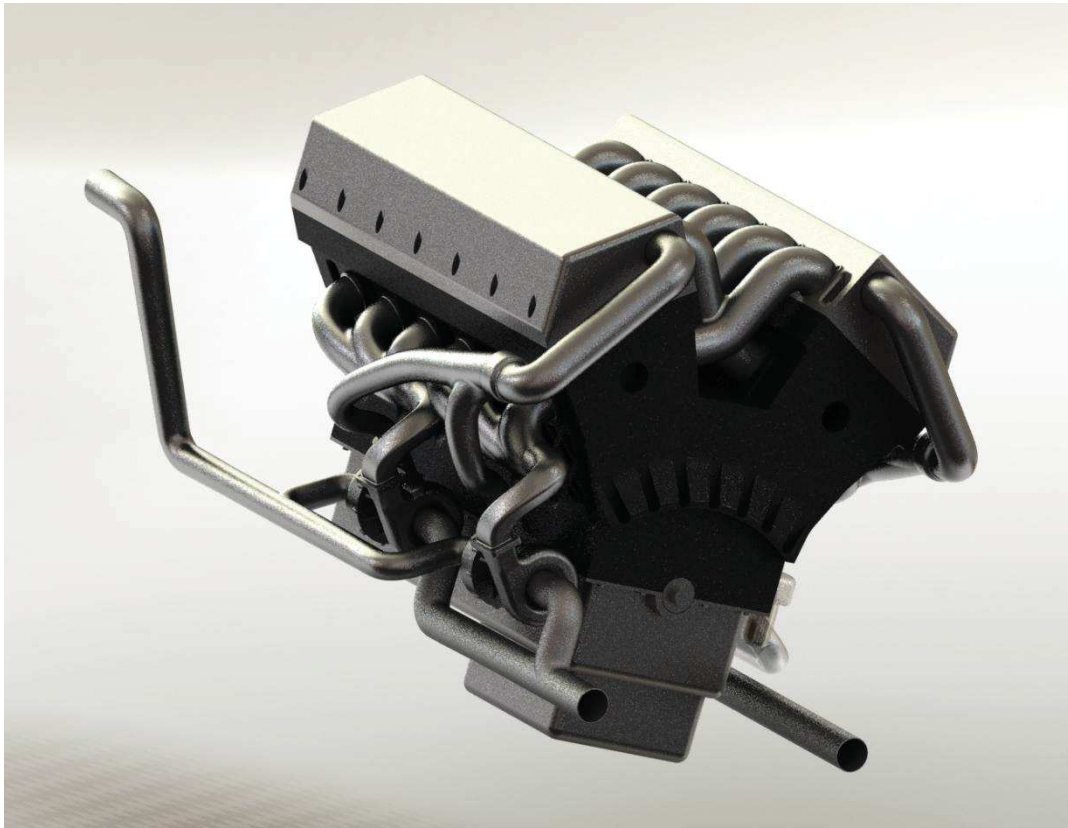


Рис.2. Модель 12-циліндрового дизеля у зібраному стані.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ УСТАНОВКИ

¹Ляшук О.Л. *д.т.н. доцент*, ²Кондратюк О.М., *к.т.н. доцент*,

²Серілко Л.С. *к.т.н. доцент*, ¹Галан Ю.Я. *аспірант*

¹Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

²Національний університет водного господарства та природокористування

При розробці і впровадженні нової високопродуктивної фінішної обробки, використовують вібраційний метод обробки деталей складної форми в сипучому абразивному середовищі. Процес вібраційного оброблення (ВіО) супроводжується взаємодією на деталь, яка обробляється, сукупністю факторів: великою кількістю мікроударів частинок робочого середовища, яка забезпечує пластичну деформацію, зняття металу і його окислів, змінних прискорень, які забезпечують високу рухомість і ударний характер взаємодії частинок робочого середовища і деталей, наявність хімічних і поверхнево-активних розчинів, які входять в склад ЗОР. Велика кількість різновидностей цього методу потребує досконального його вивчення і дослідження.

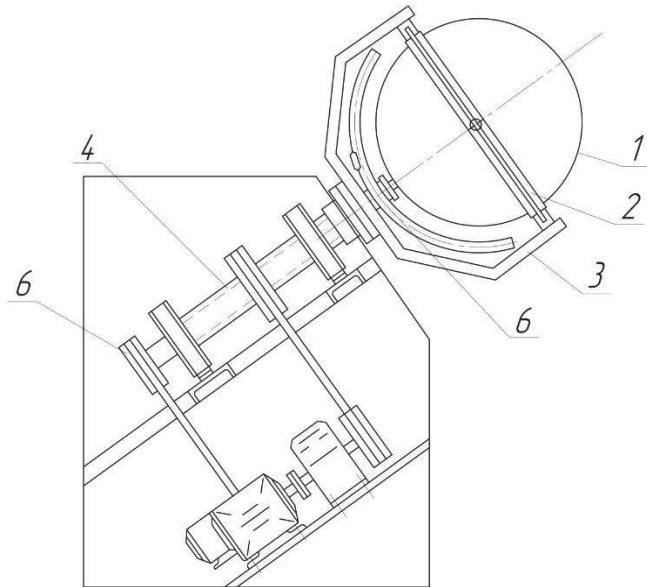


Рис.1. - Схема вібраційно-відцентрової установки

Схему вібраційно-відцентрової установки, робоча камера якої здійснює складні кутові коливання та обертання навколо похилої осі, наведено на рис.1 [1]. Робоча камера 1 шарнірно встановлена в кільці 2, яка за допомогою підшипників кріпиться до ведучої вилки 3. Вилка 3 жорстко з'єднана з пустотілим валом 4, рух якого відбувається від електродвигуна за допомогою пасової передачі. Всередині пустотілого валу 4 знаходиться вал 5 кривошипного механізму 6, який здійснює кутові коливання робочої камери 1.

Розглянемо умовну рівновагу частинки абразиву, яка знаходиться на внутрішній поверхні камери. Згідно принципу Д'Аламбера [2] будемо мати:

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_T + \vec{\phi} = 0 \quad (1)$$

де \vec{P} – сила тяжіння, \vec{N} – нормальна реакція поверхні камери, \vec{F}_T – сила тертя, $\vec{\phi}$ – сила інерції, $\vec{\phi} = -m\vec{a}$.

Проведемо через кожну точку M_i з координатами (x_i, y_i, z_i) , $(i=1..12)$ нормаль, вектор якої матиме координати: $X_i = -x_i$; $Y_i = -y_i$; $Z_i = -z_i$.

Проектуючи рівняння (1) на нормаль отримаємо:

$$N = P_n + \phi_n, \text{ де } \vec{P} = m\vec{g}, \quad N' = \frac{N}{m} = g_n + a_n. \quad (2)$$

Вектор прискорення вільного падіння має координати $g_x = -g \cos \psi$; $g_y = g \sin \psi$, $g_z = 0$, де ψ – кут нахилу осі Oy до горизонту.

Знаючи проекції прискорення точки M_i на координатні осі a_{xi} , a_{yi} , a_{zi} можна визначити величину N' .

$$N' = \frac{(g_x + a_{xi})X_i + (g_y + a_{yi})Y_i + (g_z + a_{zi})Z_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}}. \quad (3)$$

Визначимо кінетичну енергію частинки абразиву, яка знаходиться в точці M_i в моменті часу, коли проходить відрив частинки абразиву від камери $N' > 0$.

$$E_k = \frac{mV_i^2}{2} = \frac{m(V_{xi}^2 + V_{yi}^2 + V_{zi}^2)}{2} \quad (4)$$

де V_{xi}, V_{yi}, V_{zi} – проекції швидкості точки M_i на осі координат в момент часу t_k .

Тоді кінетична енергія, яку віддає камера частинкам абразиву в точці M_i за час t_1 , буде рівна $T_i = \sum_{k=1}^{t_1} E_k$. Кінетична енергія, яку отримують частинки абразиву від всієї камери за час t_1 , буде рівна $T = \sum_{i=1}^{80} T_i$. Величина t_1 визначається з умови, що за цей час робоча камера здійснить повне число обертів навколо осі Oy . $t_1 = \frac{60}{\Delta n_1}$, де Δn_1 – крок зміни частоти обертання камери навколо осі Oy .

Після цього визначаємо кінетичну енергію, яку віддає камера частинці абразиву одиничної маси за час t_1 , яка наведена рис.2.

$$T' = \frac{T}{m \cdot t_1} \quad (5)$$

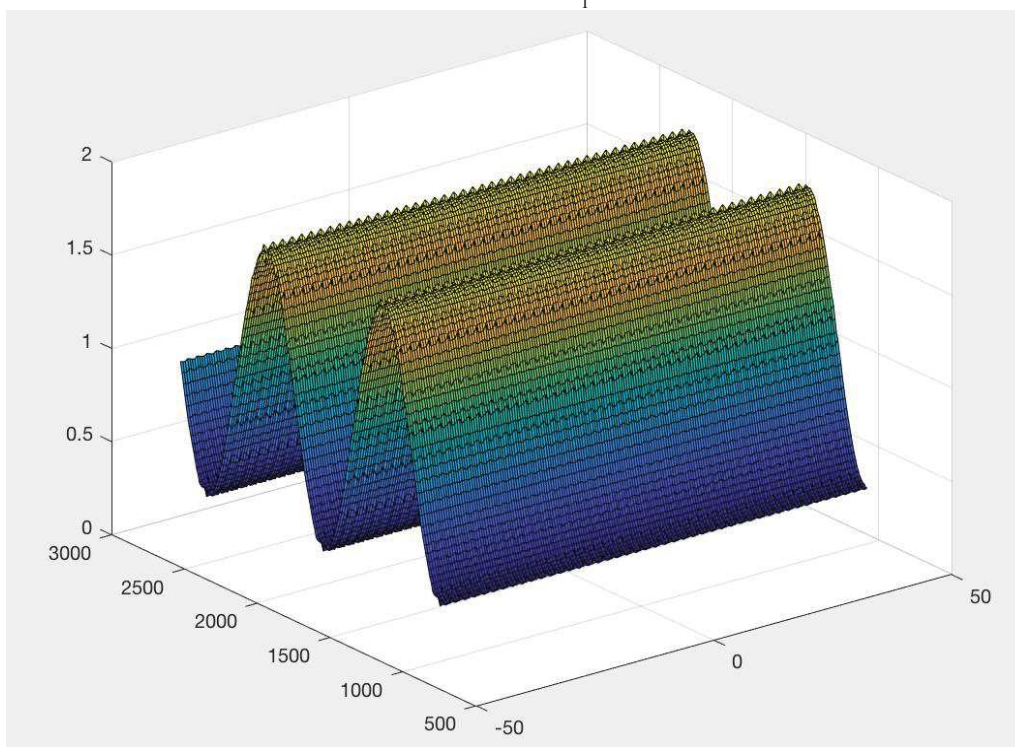


Рис.2. Поверхня відгуку залежності питомої кінетичної енергії T' від частоти обертання вилки n_1 і кривошипа n_2

Література:

1. Патент на корисну модель № 113428. Україна, МПК(2016.01) В24В 31/073 . Пристрій для вібраційної обробки/ Гевко Б. М.; Кондратюк О. М.; Ляшук О. Л.; Серілко Л. С.; Галан Ю.Я. (Україна). – u201608015. Заявл. 19.07.2016.; Опубл. 25.01.2017р., Бюл.№2.- 4с.;
2. Павловський М. А. Теоретична механіка: [підручник] / М. А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДЕФЕКТІВ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

¹Марчук В.І., д.т.н., професор, ¹Марчук І.В., к.т.н., доцент, ¹Олексин М.В., аспірант, ¹Сачковська Л.О., аспірант, ²Джугурян Т.Г. д.т.н., професор.

¹Луцький національний технічний університет

²Щецінська морська академія (Польща)

На підставі відомих підходів до моделювання температури під час безцентрового шліфування, запропоновано підхід до моделювання теплових процесів в зоні різання під час шліфувального оброблення поверхонь обертання кілець роликопідшипників. Складено диференційне рівняння балансу тепла, що розповсюджується в оброблювану заготовку та стружку з урахуванням переміщення теплового джерела вздовж адіабатичних сегментів, якими умовно представлений припуск, що знімається.

Встановлено, що формування температури під час шліфування підпорядковується складним фізичним залежностями та вимагає уточнених розрахункових схем, які б враховували переміщення теплового джерела, як вздовж шліфованої криволінійної поверхні, так і в радіальному напрямку, перпендикулярно до шліфованої поверхні обертання.

Ґрунтуючись на відомих підходах щодо розрахунку температури під час шліфування [1, 2], запропоновано підхід до задачі визначення температури під час шліфування циліндричних тіл з урахуванням руху теплового потоку в глибину поверхневого шару деталі. Тобто, запропоновано вирішення з урахуванням перерізу адіабатичних сегментів, якими умовно представлений оброблюваний матеріал (заготовка) (рис.1).

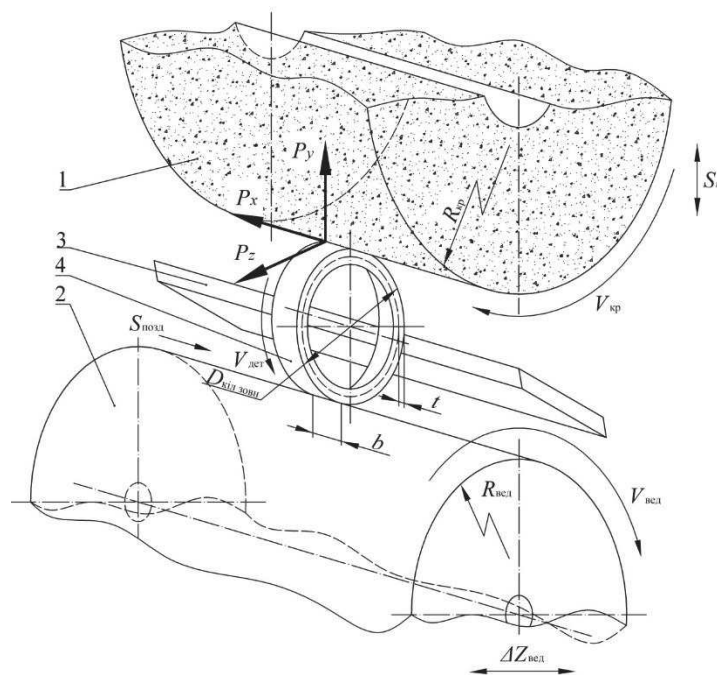


Рис. 1. Розрахункова схема процесу шліфування: 1 – шліфувальний круг; 2 – ведучий круг; 3 – ніж опорний; 4 – заготовка

Справедливо припустити, що у процесі шліфування частина сегмента, яка рівна величині знятого припуску (в першому наближенні – дорівнює глибині шліфування t) перерізається шліфувальним кругом [1, 2, 3, 5, 6, 9].

Введемо припущення, що за час впливу теплового потоку τ відбулося перерізування сегмента довжиною l_1 , тобто тепловий потік перемістився вздовж сегмента на величину $l_1 = V_{\text{різ}} \cdot \tau$, і за цей проміжок часу в результаті різання виділилась певна кількість тепла Q (де $V_{\text{різ}}$ – швидкість перерізування сегмента, м/с). Це тепло використовується на нагрівання сегмента довжиною l_1 (витрачена кількість тепла Q_1), а також на нагрівання сегмента довжиною l_2 за рахунок теплопровідності оброблюваної деталі (витрачена кількість тепла Q_2), рис. 2:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

Кількість тепла Q_1 виразимо наступним чином: розділимо сегмент довжиною l_1 на необмежену кількість елементарних ділянок довжиною Δl [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8]. Кожна з них нагріта до різної температури: перша – до температури θ_1 , друга до температури θ_2 .

Тоді кількість тепла, витрачена на нагрівання першої ділянки сегмента довжиною l_1 , буде дорівнювати:

$$Q_1 = c \cdot m_1 \cdot \theta_1 \quad (2)$$

де c – питома теплоємність оброблюваної деталі, Дж/(кг·°С).

В результаті проведених розрахунків було отримано інтегральне рівняння, в якому невідомі величини θ_2 та θ залежать від часу τ . Для спрощення вирішення рівняння [1, 2, 4, 6] виконаємо диференціювання його правої та лівої частин за часом τ , тобто проведемо диференціювання всіх складових рівняння.

Будемо вважати, що кількість тепла, яке витрачається на нагрівання сегмента довжиною l_2 , визначається як:

$$Q_2 = c \cdot m \cdot \theta_2 \cdot 0,5 \quad (3)$$

та дорівнює кількості тепла, що визначається залежністю (2), яке протікає через сегмент довжиною l_2 в результаті його теплопровідності. В залежності (3) прийняті наступні позначення: m – маса сегмента довжиною l_2 , кг; θ_2 – температура, яка витрачається на нагрівання сегмента довжиною l_2 ; c – питома теплоємність оброблюваної деталі, Дж/(кг·°С); коефіцієнт 0,5 визначає середню температуру нагрівання сегмента довжиною l_2 .

Література:

1. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов, Ю.А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76-78.
2. Якимов О.В. Високопродуктивне шліфування / О.В. Якимов, Ф.В. Новиков. – К.: ІНТМ, 1995. – 180с.
3. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / І.В.Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеіві // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.

4. Марчук В.И. Управление параметрами качества рабочих поверхностей колец конических роликоподшипников / В.И. Марчук, В.Т. Михалевич // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 5-й международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК ФЭД, 2002. – С. 127–130.

5. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверчиков. – Минск : Наука и техника, 1977. – 255 с.

6. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Новый упрощенный подход к расчету температуры поверхностного слоя детали при ее механической обработке. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005 г.– Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С.137–146.

7. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.

8. Марчук І.В., Марчук В.І., Модель стабілізації високочастотних коливних процесів в динамічній системі круглого врізного шліфування. Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2016. – Перспективні технології та прилади №9. - С.75-83.

9. Марчук І.В. Технологічне керування температурою під час безцентрового шліфування функціональних поверхонь обертання/ Марчук В.І. // «Наукові нотатки». Випуск 61. м. Луцьк, 2018 – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – С. 142-147.

10. Марчук В.І. Класифікація та походження температурних дефектів на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання / В.І. Марчук , І.В. Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві / Матеріали Шістнадцятої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво», м. Суми, 26-29 жовтня 2016 р. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 102–103.

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ

¹Бойко І.А., *інженер*, ²Глембоцька Л.Є., *к.т.н.*, ³Івченко Л.Й., *д.т.н., професор*, ²Мельничук П.П., *д.т.н., професор*

¹АТ «Мотор Січ», Запоріжжя

²Житомирський державний технологічний університет

³Запорізький національний технічний університет

Однією із найбільш наукоємних і високотехнологічних галузей сучасного машинобудування є авіадвигунобудування. Підвищення вимог до надійності двигунів і особливості умов їх експлуатації призводить до необхідності

використання конструктивних елементів, які мають підвищені характеристики жаростійкості, зносостійкості, міцності. Більше 70% з усіх відповідальних вузлів сучасних турбореактивних двигунів виготовляються з матеріалів, які відносяться до важкооброблюваних за класифікацією ISO 513:2004 (група S), однак не менш поширеними матеріалами в авіаційному виробництві є алюміній, магній, композитні матеріали, конструкційні сталі та багато інших.

Складна вихідна геометрія, високі вимоги до точності обробки і шорсткості оброблених поверхонь, а також прагнення до зниження собівартості виготовлення і зменшення кількості технологічних переходів в процесі виготовлення деталей і складальних одиниць призвело до широкого впровадження в авіадвигунобудування багатоцільових верстатів (БЦВ), до основних відмінних рис яких характерні збільшена швидкість виконання головного руху, робочих і холостих переміщень, застосування поворотних вузлів тощо.

Висока в'язкість жароміцних матеріалів, значне тепловиділення в процесі обробки і високі величини сил різання призводять до збудження в процесі оброблення вимушених коливань, які можуть призводити до виникнення резонансних явищ і, як наслідок, стають причиною погіршення точності обробки і шорсткості оброблених поверхонь, а також прискорюють процеси зношування різального інструменту і можуть призвести до передчасної втрати верстатом працездатності.

Усі вищезгадані характеристики відносяться по показників динамічної якості верстата, яка визначається стійкістю системи в процесі обробки. До основних показників динамічної якості верстата відноситься: найбільший допустимий режим стійкого різання; амплітуда відносних коливань інструменту і заготовки; швидкодія виконання допоміжних рухів елементів системи; надійність безперервної роботи верстата впродовж тривалого часу; шум і коливання.

Обробка ВОМ відбувається в нижньому діапазоні частот обертання сучасних шпиндельних вузлів, верхня межа якого не перевищує 2500 об/хв. В даний діапазон найчастіше входять частоти власних коливань (ЧВК) несучої системи верстата.

Основною особливістю багатоцільових верстатів є постійна одночасна зміна взаємного положення складових елементів системи верстата, в тому числі поворотних столів і голів, а також деяких елементів, таких як інструментальна оправка і різальний інструмент, зміна яких відбувається між технологічними переходами під час обробки.

Так, незважаючи на низький ступінь впливу переміщення шпиндельного вузла (ШВ) і поворотного стола на частоту власних коливань несучої системи верстата Ricomax 820 VERSA, зміна якої не перевищує 3%, спостерігається значне зростання амплітуди коливань переднього кінця шпинделя на першій ($f_1=37,36$ Гц), третій ($f_3=77,6$ Гц), п'ятій ($f_5=125,8$ Гц) і шостій ($f_6=139,9$ Гц) ЧВК до 300%.

Ще одним малодослідженим, але досить дієвим засобом впливу на амплітуду коливань переднього кінця ШВ є підбір оптимальної схеми встановлення верстата на опори і їх кількість. Наприклад математичне

моделювання методом скінчених елементів показало, що встановлення двох додаткових опорних башмаків (базова схема встановлення – на три опори) у верстаті Ricomax 820 VERSA симетрично відносно осі коливань траверси призводить до підвищення ЧВК БЦВ на першій, другій і п'ятій ЧВК в межах від 14 до 24%, в той же час жорстке закладання станини призводить до значного підвищення усіх шести розглядуваних частот на величину від 15,8 до 50%, що говорить про значне підвищення жорсткості верстата.

Виходячи із форм власних коливань ШВ на п'ятій ($f_5=1113$ Гц) і шостій ($f_6=1115$ Гц) ЧВК збудження коливань відбувається безпосередньо у парі різальний інструмент (PI) – інструментальна оправка (IO). Враховуючи широкий спектр застосовуваних IO і PI, що суттєво відрізняються як геометричними параметрами, так і фізико-механічними властивостями матеріалів, з яких вони виготовлені, зміна ЧВК на f_5 і f_6 внаслідок зміни PI між технологічними переходами може бути значною. З метою визначення меж зміни п'ятої і шостої ЧВК ШВ змодельовано варіанти встановлення в ШВ PI і IO з найбільшим та найменшим відношенням жорсткості цих елементів до їх маси, яке називатимемо питомою жорсткістю. За результатами модального аналізу визначено, що ЧВК PI і оправки в моделі найбільшим показником питомої жорсткості складає 1123 Гц, а в моделі з найнижчою – 482,33Гц, що свідчить про можливу зміну ЧВК цих елементів більш ніж в 2,3 рази в середньому і високому діапазонах частот обертання шпинделя.

Серед технологічних засобів підвищення динамічної якості БЦВ виділяються наступні: оминання резонансних явищ за рахунок підбору оптимальний режимів різання, зон обробки і пристосувань. Зокрема, запропоновано пристосування і спосіб закріплення заготовок для обробки складнофасонних деталей, який полягає у тому, що до одного з торців заготовки призматичної або циліндричної форми, чи частково обробленої заготовки, приварюється тримач, який забезпечує надійну фіксацію, центрування і орієнтацію деталі в пристосуванні на верстаті.

Розроблене пристосування і спосіб закріплення заготовок впроваджено у виробництво на АТ «Мотор Січ», що дозволило отримати економічний ефект 326345 грн при виготовленні більше 60 магазинних номерів деталей і вузлів.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗЦІВ З ТВЕРДОСПЛАВНИМИ РІЗАЛЬНИМИ ПЛАСТИНАМИ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ПРИ ЧОРНОВІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ З ВЕЛИКИМИ ДІАМЕТРАМИ БОЧКИ ВАЛКА

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

Однією з найгостріших проблем важкого машинобудування України є підвищення енергоефективності процесів механічної обробки деталей

у загальній структурі яких значну питому частку складають процеси токарної обробки. Перспективним напрямом підвищення енергоефективності обробки деталей на важких верстатах є мінімізація витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання [1]. Досягти зменшення енерговитрат на процес обробки за рахунок зниження рівня силової навантаженості зони різання можна, зокрема, при використанні різальних інструментів зі зносостійким покриттям.

Використання різців з тврдосплавними різальними пластинами зі зносостійким покриттям при токарній обробці деталей важкого машинобудування невпинно розширюється. Традиційною областю використання інструментів зі зносостійким покриттям залишається чистова обробка; разом з тим, останнім часом різці з різальними пластинами з покриттям все ширше використовуються при напівчистовій [2] і навіть чорновій [3] токарній обробці деталей важкого машинобудування.

Характерними деталями важкого машинобудування є валки прокатних станів з великими діаметрами бочки. Приклади таких валків виробництва ПрАТ НКМЗ (м. Краматорськ) (за даними роботи [4]) наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики деяких валків прокатних станів виробництва ПрАТ НКМЗ (м. Краматорськ) (за даними роботи [4])

Габаритні розміри валків (діаметр бочки × довжина бочки × довжина деталі), мм	Маса валків, т	Матеріал валків
1600 × 2700 × 6700 1500 × 2500 × 6300 1400 × 2000 × 5500 1200 × 1200 × 5000 1100 × 1500 × 4800	12–60	Сталь 50, 50ХН, 60ХН, 75Х2МФ, 75ХМФ, 90ХФ, 70Х3ГНМФ та ін.

Чорнова токарна обробка таких деталей має свою специфіку. Зокрема, при чорновому точінні на важких верстатах тврдосплавна різальна пластина зазнає складної дії механічних та теплових навантажень значних величин [3], що негативно впливає на рівень витрат енергії у зоні різання та працездатність різців. Зносостійкі покриття з необхідним набором функціональних характеристик можуть істотно знизити рівень термомеханічної напруженості зони різання. При цьому система факторів впливу умов обробки на термомеханічну напруженість зони різання визначатиме як величину енерговитрат у зоні різання, так і працездатність різців. Міцна (бажано градієнтна) основа тврдого сплаву, низька дефектність і сприятливе співвідношення тврдості та пластичності матеріалів шарів покриття, нанесених за CVD-технологіями, мають забезпечити як високу працездатність різців та продуктивність обробки [3], так і енергоефективні умови різання.

З метою визначення марок тврдих сплавів зі зносостійким покриттям, що мають перспективу ефективного використання у високоенергомістких процесах чорнової токарної обробки прокатних валків з великим діаметром бочки, авторами роботи було виконано аналіз результатів проведених

на ПрАТ НКМЗ (м. Краматорськ) випробувань різців, оснащених різальними пластинами форми SCMT 380932 (головний кут у плані $\varphi = 75^\circ$) з твердих сплавів з покриттям виробництва фірм «Pramet», «Korloy», «Taegu Tec», «Canela», «Harditalia» при поздовжньому чорновому точінні бочок прокатних валків $\varnothing 1120 \dots 1590$ мм (матеріали валків – сталі 70X2МФ, 75ХМФ, 75Х2МФ, 50Х3ГНМФ, 70Х3ГНМФ, 75Х3ГНМФ, 100ХНМФ (твердість НВ 220...260); глибина різання $t = 10 \dots 25$ мм; подача $S = 1,5 \dots 1,8$ мм/об; швидкість різання $v = 40 \dots 50$ м/хв). Найкращу працездатність (з періодом стійкості різальної пластини до 45 хвилин при точінні сталей 75ХМФ та 100ХНМФ) серед випробуваних марок сплавів продемонстрував твердий сплав 6635 фірми «Pramet» з покриттям, нанесеним методом МТ-CVD на функціонально градієнтному субстраті з відносно високим вмістом кобальту [5].

Література:

1. Мироненко, Е. В. Общая структура математической модели для определения энергоэффективных технологических параметров токарной обработки деталей тяжелого машиностроения / Е. В. Мироненко, Г. П. Клименко, В. В. Калиниченко // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – Вып. 85. – С. 202–210.
2. Мироненко, Є. В. Аналіз можливостей використання різців з твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями при напівчистовій обробці валків прокатних станів / Є. В. Мироненко, В. В. Калініченко, Д. Є. Гузенко // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 12 – Харків : НТУ «ХП», 2017, с. 116–125.
3. Мироненко, Є. В. Зносостійкі покриття для чорнової та напівчистової токарної обробки деталей / Є. В. Мироненко, В. С. Гузенко, В. В. Калініченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. № 39, 2016. – С. 141–146.
4. Васильченко, Я. В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков / Я. В. Васильченко, Т. А. Сукова, М. В. Шаповалов // Вісник СевНТУ. Зб. наук. пр. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь : СевНТУ. – 2013. – Вип. 139. – С. 28–32.
5. Pramet. Токарная обработка. Каталог. – 2009.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ

**Ручинський М.М., к.т.н., професор, Назаренко І.І., д.т.н., професор,
Свідерський А.Г., к.т.н., професор**

Київський національний університет будівництва і архітектури

Вібраційні машини різного технологічного призначення, як правило, працюють в гармонійному, переважно за резонансному, режимі. Це обумовлено забезпеченням стабільного режиму, що і є їх основною перевагою. Однак, енергоємність таких машин, наприклад, вібромашин будіндустрії, є значною, що в більшості випадків спонукає до зниження надійності, підвищення матеріалоємності, збільшення довготривалості робочого процесу.

Більш ефективним є застосування нелінійних систем. В нелінійних системах проявляється багаторежимність у вигляді основного, субрезонансного і суперрезонансного режимів, що формуються на основі вільних коливань системи, які підтримуються зовнішньою вимушеною силою.

Багаторежимні рухи притаманні нелінійним динамічним системам. Такі режими формуються при певних умовах, визначених співвідношеннями кількості періодів вимушеної сили із періодами руху віброударних систем, використанням нелінійних пружних характеристик відновлюючих сил, зміною пружних характеристик у часі.

В роботі наведені результати дослідження вібраційних машин різного технологічного призначення. Розроблена теорія спільного руху робочих органів вібромашин і оброблюваних середовищ, що моделюються дискретно-континуальними системами. Розглянуто комплексний підхід до вирішення питання моделювання складних динамічних систем зі змінними характеристиками пружних елементів при реалізації робочого процесу. Встановлені закономірності дозволили сформулювати основні положення розрахунку подібного класу, які сформульовані в науковому процесі школи:

Характеристики і параметри, що відображають машину і середовище, моделюються в рівняннях руху єдиною вібраційною системою, яка володіє своєю динамічною індивідуальністю.

Максимальна концентрація енергії робочого органа за рахунок внеску вищих гармонік, технологічна ефективність вкладу енергії вищих гармонік реалізується за рахунок цілеспрямованого використання удару і вібрації, що забезпечується застосуванням додаткових обмежників коливань і відповідним підбором їх жорсткості, вибором раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань.

Синхронне забезпечення поліфазних, автоколивальних режимів формування. Реалізуються ці режими в конструкціях вібромашин за рахунок розфазування дебансів або застосуванням динамічних схем з незалежною підвіскою ударника, який здійснює рух під впливом віброзбудника.

Реалізація динамічного керування рухом систем на основі використання внутрішніх властивостей систем, що забезпечується застосуванням гідравлічного та пневматичного приводів для вібраційних машин.

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В АМОРФНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТЯХ

Одосій З.М., к.т.н., професор, Шиманський В.Я., асистент, Піндра Б.В., магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Процес нанесення покриттів методами газотермічного напилення завжди супроводжується виникненням внутрішніх (залишкових) напружень [1, 2, 3]. В покриттях зазвичай виникають напруження всіх родів, причому їх величина коливається в залежності від методу і режимів напилення, товщини і складу покриття, попередньої підготовки поверхні, умов охолодження і т.п. Залишкові напруження можуть нерівномірно розподілятися в напиленому шарі і основному металі, мати протилежні знаки, досягати значних величин [1].

Очевидно, що залишкові напруження всіх родів виникають і в покриттях з аморфною структурою. Для аморфних, як і кристалічних, покриттів найбільш важливо оцінити напруження I роду, так як вони являються причиною руйнування більшості напилених систем. На такі напруження впливають нерівномірність теплового потоку і розподілу матеріалу в газо-порошковому струмені, нерівномірний нагрів деталі, її конструктивні параметри і т.п. [1].

Залишкові напруження I роду розраховують на основі розподілу температурних полів в системі "основа-покриття" в момент часу, що відповідає їх нульовим значенням в покритті, а саме під час його утворення [1]. Тому дуже важливо знати термічні умови напилення. Так як експериментальне визначення температурних полів проводити важко, інтерес представляють теоретичні методи розрахунку процесів теплопереносу в даних системах. Для вивчення напруженого стану в системі "покриття-основа" математичні моделі з дослідження теплових режимів в одиничній частинці, яка охолоджується на основі [1, 2] малоприменні, так як необхідні дані про рівні температур всього покриття в цілому.

В цьому аспекті більш прийнятні моделі з дослідження теплового стану "покриття в цілому - основа" [6-8]. Дані моделі розділяються на ті, в яких прийнято допущення про монотонний ріст товщини покриття [6, 7] і моделі дискретного росту [8]. Так як в реальних умовах газотермічне покриття наносять шарово за кілька проходів, останній підхід до аналізу процесів теплопереносу становить найбільший інтерес. Разом з тим, хоча модель [8] розглядається в трьохмірній постановці з рухомим джерелом тепла, велика кількість допущень (ріст товщини покриття після одного проходу плазмотрону не враховується, лінійна постановка, всі обмежуючі поверхні адіабатичні і т.п.) приводить до невеликої точності розрахункових даних. Однак при розробці більш точних математичних моделей необхідно використовувати вказаний підхід [8] (трьохмірна постановка, рухоме джерело тепла, гаусівський розподіл теплового потоку в плямі напилення).

Встановлений при математичному моделюванні розподіл температурних полів в системі "покриття-основа" є основою для подальшого розрахунку

залишкових напружень [6-8]. При цьому необхідно розглядати не повністю сформоване покриття, а враховувати, що в дійсності залишкові напруження формуються при поступовому нарощуванні покриття і поступовому рості температури до певних кінцевих значень [5].

На основі аналізу залишкових напружень в плазмових покриттях Л.І. Дехтяр і В.С. Лоскутов запропонували: по-перше, виходячи із конкретних умов роботи деталі з покриттям, попередньо визначити вимоги до їх знаку і рівня, а по-друге, використовуючи різні технологічні прийоми, постаратися одержати покриття із заданими характеристиками по напруженнях. Відомі такі технологічні прийоми, що дозволяють одержати покриття з заданими характеристиками по напруженнях [1]:

- узгодження коефіцієнтів термічного розширення і інших властивостей покриття і основи;
- регулювання термічної дії газо-порошкового струменя на основу і покриття варіюванням режимів напилання;
- використання підшарів;
- нанесення багатшарових покриттів із різнорідних матеріалів;
- армування покриттів волокнами або дротами;
- регулювання геометричних параметрів і форми основи.

Необхідно відмітити, що при експлуатації деталей з покриттями прагнуть до напружень стиску, як більш безпечних.

У випадку використання закріплюючої приспособи, що обмежує степені свободи основи (наприклад, стискає її по довжині), на температурні напруження накладаються напруження, які виникають за рахунок цієї приспособи [5].

В літературі приводяться дані по залишкових напруженнях в залежності від різних умов напилання, властивостей матеріалів покриття і основи та подальшої обробки [1, 2, 3, 5]. Абсолютна величина залишкових напружень може мати самі різні значення. Наприклад, було виявлено напруження від +(200 - 300) МПа для покриттів із сталі І2Х18НІ2Т до -230 МПа для оксиду алюмінію [1]. Однак опубліковані дані по напруженнях містять протиріччя, які можна пояснити неточністю методів їх визначення. Приведені відомості про залишкові напруження в покриттях відносяться до часткових випадків і без повного знання умов одержання зразку дають мало інформації і не дозволяють встановити загальних закономірностей. Залишкові напруження, що виникають в покриттях, впливають практично на всі експлуатаційні характеристики напилених деталей [2, 5]. Вони можуть бути причиною появи тріщин і відшарувань, впливають на адгезійну і когезійну статичну і багаточиклову міцність, зносостійкість, термостійкість. Опубліковані дані про вплив залишкових напружень на властивості суперечливі, що зв'язано з багатфакторністю самих залишкових напружень. Така багатфакторність полягає в тому, що на експлуатаційні характеристики деталей з покриттями впливають не тільки значення і знак напружень, але і їх вид, розподіл по глибині деталі, градієнт [1, 2, 5, 6].

У випадку, коли в покритті виникають розтягуючі напруження, має місце пониження когезійної міцності при випробуваннях покриттів на розтяг [4]. Причому, якщо ці напруження перевищують границю міцності матеріалу покриття на розтяг, то в ньому виникає сітка тріщин, перпендикулярних до поверхні.

Збільшення внутрішніх напружень приводить до пониження міцності зчеплення покриття з основою. Так, наприклад, при рості температури нагріву до 400 °С, залишкові напруження в оксидному плазмовому покритті зростають з 2 до 10 МПа, а міцність зчеплення понижується з 15 до 1 МПа [1]. Аналогічним чином, при збільшенні товщини покриття зростають внутрішні напруження і зменшується його міцність зчеплення з основою [1].

При одночасній дії корозійного середовища і зовнішнього навантаження напруження стиску підвищують стійкість деталей, а розтягуючі можуть привести до корозійного розтріскування.

Більшість видів покриттів понижують витривалість деталей (втомну міцність). Основна причина цього - розтягуючі залишкові напруження. Формуванням залишкових стискаючих напружень в покритті можна підвищити міцність деталі на втому.

На стійкість до зношування, крім залишкових напружень, впливають інші властивості металу - твердість, пластичність і т.п. В цьому разі необхідне комплексне дослідження внутрішніх напружень і властивостей поверхневого шару.

Література:

1. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. - М.; Машиностроение, 1981. - 192 с.
2. Кудинов В.В, Плазменные покрытия, - М.: Металлургия, 1978. -160 с.
3. Вирник А.М., Морозов И.А., Порзей А.В. К оценке остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным напылением. //Физика и химия обработки материалов.- 1970.- К 4.- ч. 53-58.
4. Барвинок В.А., Борисов Л.И., Фокин В.Г, Определение остаточных напряжений в покрытиях плазменного напыления. //Изв. вузов. Машиностроение, - 1974.- N 5. – с. 115 – 119.
5. Барвинок В.А., Богданович В.И, Расчёт остаточных напряжений в плазменных покрытиях с учётом процесса наращивания. //Физика и химия обработки материалов. – 1981.- К 4.- с. 95-99.
6. Теплообмен и термические напряжения при нанесении газотермических покрытий на подложку. /И.Л.Куприянов, М.А.Геллер, Г.Е.Горелик, А.В.Мазовко. //Физика и химия обработки материалов. – 1986. - К 6.- с. 24 – 27.
7. Pawlovski L, Temperature distribution in plasma-sprayed coatings. //Thin Solid Films. - 1981. - N 1. - P. 79 – 81.
8. Лупаков И.С., Калинин Г.М., Иванов В.М, Методика расчёта температуры нагрева изделия при плазменном напылении, //Теория и практика газотермического нанесения покрытий. -Т. I.Рига: Зинатне, 1960. - с. 19 – 29.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ НАРІЗЕЙ КОНІЧНИХ ЗАМКОВИХ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

Онисько О.Р., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Процес виготовлення бурильних замків включає у себе операції механічної обробки, які забезпечують вказані параметри точності та якості в основному за рахунок застосування точних токарно–гвинторізних верстатів і токарних верстатів з ЧПК та інструментів до них. На сьогодні виробники інструментів постачають спеціально профільовані різці для виготовлення усіх форм замкових нарізей. При цьому передбачено різці з різним значенням кута нахилу різальної кромки, але такі геометричні параметри, як задній кут і передній кут не регламентуються виробником взагалі і при цьому передній статичний кут у вершинній точці завжди має нульове значення. Це, очевидно, пов'язано із відсутністю науково-обґрунтованої теоретичної бази.

У ряді теоретичних досліджень йдеться про оцінювання якості конічних замкових нарізей за експлуатаційними параметрами з'єднань, які ці нарізі повинні забезпечувати: механічна міцність (у тому числі в умовах агресивних середовищ), згвинчуваність та герметичність. Проте, поки що відсутня загальна теорія впливу технологічних параметрів процесу нарізоточіння на експлуатаційні параметри замкових з'єднань в бурових колонах.

У зв'язку із цим, створення теоретичних основ підвищення експлуатаційних характеристик конічних замкових з'єднань для елементів бурильних колон технологічними методами при їх виготовленні є актуальною науковою проблемою.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик бурильних замків на базі розробки теоретичних основ проектування технологічного процесу їх виготовлення.

Наукова новизна отриманих результатів. У даній роботі вперше запропоновано новий підхід до вирішення завдання виготовлення високоефективних замкових нарізей, у першу чергу точності профілю нарізі та висоти її вихідного трикутника, а також на основі геометричного аналізу гвинтової поверхні вперше запропоновано підвищити параметри якості замкової конічної нарізі: герметичність, міцність і згвинчуваність за рахунок зміни робочої висоти і ширини гребеня. Для цього вперше:

1. Розроблено математичну модель для опису профілю осьового перерізу конічної гвинтової поверхні, як пари відкритих конволютних поверхонь, які виконуються згідно із заданими вхідними параметрами: менший діаметр конуса, величина конусності, крок нарізі, передній статичний кут різця і кут нахилу різальної кромки у вершинній точці різця [1].
2. Розроблено математичні моделі для опису профілю осьового перерізу у залежності від величин радіального і тангенціального відхилів вершини різця, щодо осі деталі [2, 3].

3. Задля підвищення герметичності, покращення згвинчуваності та збільшення механічної міцності замкового з'єднання запропоновано змінити щодо стандартних значень величини параметрів конічної замкової нарізі, які задано факультативно [3].

4. Отримано теоретичні функціональні залежності параметрів згвинчуваності та контактних тисків між поверхнями нарізі замкового з'єднання від факультативних параметрів нарізі: робочої висоти і ширини гребеня [4, 5].

5. Отримано визначення геометричних параметрів у різних системах координат, на підставі яких встановлено загальні залежності розрахунку геометричних параметрів вздовж різальної крайки різця у процесі нарізоточіння [6].

Висновок. Отримані результати дають теоретичну базу для практичного втілення технологічного процесу виготовлення замкових нарізей із високими експлуатаційними показниками: механічна міцність, герметичність та згвинчуваність.

Література:

1. Медвідь Ю.В. Теоретичний аналіз забезпечення точності профілю замкової нарізі виготовленої різцями із загальним положенням передньої поверхні та заданою точністю її встановлення [Текст] / Ю. В. Медвідь, О. Р. Онисько, В.Г. Панчук // Збірник наукових праць VII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». –2018. –С. 96-100.

2. Онисько О.Р. Аналітичний розрахунок точності профілю поверхні гвинтової нарізі залежно від величини тангенціального відхилення у встановленні вершини різьового різця. [Текст] / О. Р. Онисько, // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2016. –1(58). – С. 28 –34.

3. Онисько О.Р. Алгоритм визначення величини відхилення профілю різьби виконаної різцем з ненульовим значенням кута нахилу різальної кромки. [Текст] / О.Р.Онисько, П. І. Войтенко, Н. О. Костюк /Наукові нотатки/ Міжвузівський збірник, –2015. – №50, С.137–144.

4. Онисько О. Р. Профіль різальної кромки різців для виготовлення замкової нарізі з мінімальною негерметичністю. [Текст] / О. Р. Онисько, Л. Д. Пітулей, І. З. Довбуш // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. –2018.- №891. – С. 42-51.

5. Panchuk Vitalii. Manufacturing technology of the oil and gas drill pipe connector with low-permeability level of the drilling mud in its screw part. [Текст] / Vitalii Panchuk, Oleh Onysko, Iuliia Medvid // Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engi neerng . Tom XI [2018] I Fascicule 4 [October-Desember]. – P. 46-53.

6. Онисько О.Р. Аналітичне дослідження руху точки різальної кромки різьового різця у процесі формоутворення конічної гвинтової нарізі на трубах нафтогазового сортаменту. [Текст] / О. Р. Онисько, // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2016. – 1(40). – С. 50 –56.

ВПЛИВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ЗМІЩЕННЯ ВЕРШИННОЇ ТОЧКИ НАРІЗЕВОГО РІЗЦЯ НА ЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЬНОГО КУТА α ЗАМКОВОЇ КОНІЧНОЇ НАРІЗІ 3-30

Онисько О.Р., к.т.н., доцент, Врюкало В.В., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Виготовлення конічних замкових нарізей відбувається на токарних верстатах із ЧПК. Якість нарізі визначають кількома основними параметрами, серед яких – половинний профільний кут $\alpha=30^\circ\pm 30'$.

Як відомо із [1] при застосуванні токарного різця для виготовлення нарізей можливе тангенціальне зміщення вершинної точки різця з нульовим значенням переднього статичного кута у ній може призвести до зміни профільного кута на величину $30'..1^\circ$. Показано, що таке відхилення від номіналу можливе тільки для нарізей із зовнішнім діаметром до 20 мм.

Авторами [2] запропоновано автоматизований застосунок для розрахунку профільних кутів, отриманих при нарізеточінні.

У даній роботі автори доповнили алгоритм [2] автоматизованим розрахунком профілю замкових нарізей за формою VI – тобто нарізей з найменшими діаметрами, починаючи із 30 мм.

Далі (таблиці 1 – 4, рис.1) представлено результати автоматичного розрахунку отриманих профілів нарізі при різних значеннях тангенціального зміщення. У розрахунках враховано профіль, що формується при більшому боці і меншому боці нарізі. Крок по значенню зміщення становить 0,05 мм.

Таблиця 1. Вплив тангенціального зміщення вершинної точки нарізевого різця на значення профільного кута α замкової конічної нарізі 3-30, відстань від торця 0 кут підйому $3,74^\circ$ профільний кут різальної крайки $\alpha=30,15^\circ$ при більшому боці

Вертикальне зміщення, мм	Коригований різець, профільний кут $^\circ$		Некоригований різець, профільний кут $^\circ$	
	Не враховано зміщення	Враховано зміщення	Не враховано зміщення	Враховано зміщення
-0,25	29,99	30,05	29,82	29,90
-0,20		30,03		29,89
-0,15		30,02		29,88
-0,10		30,01		29,87
-0,05		30,00		29,86
0,05	30,00	29,98	29,86	29,84
0,1		29,97		29,83
0,15		29,97		29,82
0,20		29,96		29,81
0,25		29,95		29,81

Таблиця 2. Вплив тангенціального зміщення вершинної точки нарізівого різця на значення профільного кута α замкової конічної нарізі 3-30, відстань від торця 38 мм, кут підйому $2,56^\circ$ профільний кут різальної крайки $\alpha=30,11^\circ$ при більшому боці

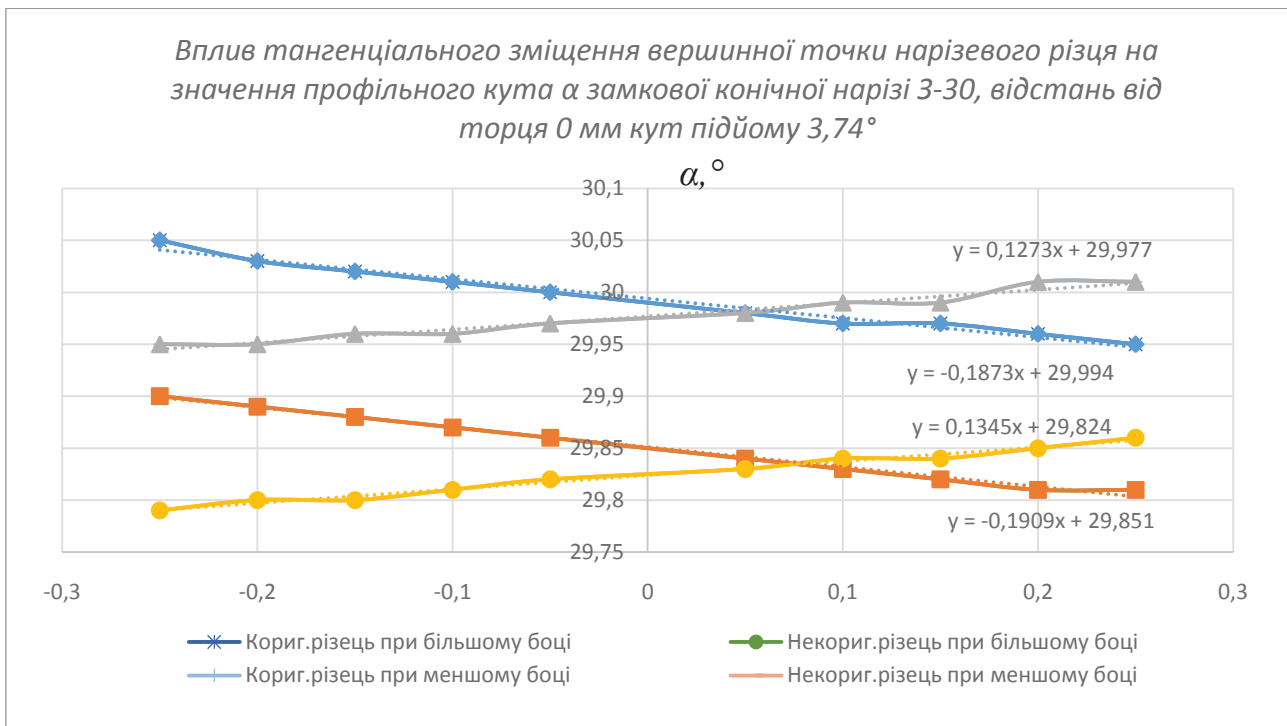
Вертикальне зміщення, мм	Коригований різець, профільний кут $^\circ$		Некоригований різець, профільний кут $^\circ$	
	Не врах.зміщ.	Врах.зміщення	Не врах.зміщ.	Врах.зміщення
-0,25	30,00	30,03	29,89	29,925
-0,20		30,02		29,92
-0,15		30,02		29,91
-0,10		30,01		29,90
-0,05		30,00		29,895
0,05		29,99		29,88
0,10		29,98		29,87
0,15		29,98		29,87
0,20		29,97		29,86
0,25		29,97		29,86

Таблиця 3. Вплив тангенціального зміщення вершинної точки нарізівого різця на значення профільного кута α замкової конічної нарізі 3-30, відстань від торця 38 мм, кут підйому $2,56^\circ$ профільний кут різальної крайки $\alpha=30,12^\circ$ при меншому боці

Вертикальне зміщення, мм	Коригований різець, профільний кут $^\circ$		Некоригований різець, профільний кут $^\circ$	
	Не врах.зміщ.	Врах.зміщення	Не врах. зміщ.	Врах. зміщення
-0,25	30,00	29,96	29,88	29,86
-0,20		29,96		29,86
-0,15		29,97		29,87
-0,10		29,97		29,87
-0,05		29,98		29,88
0,05		29,99		29,89
0,10		29,99		29,90
0,15		30,00		29,90
0,20		30,00		29,91
0,25		30,01		29,91

Таблиця 4. Вплив тангенціального зміщення вершинної точки нарізівого різця на значення профільного кута α замкової конічної нарізі 3-30, відстань від торця 0 мм., кут підйому $3,74^\circ$ профільний кут різальної крайки $\alpha=30,18^\circ$ при меншому боці

Вертикальне зміщення, мм	Коригований різець, профільний кут $^\circ$		Некоригований різець, профільний кут $^\circ$	
	Не врах.зміщ.	Врах.зміщення	Не врах.зміщ.	Врах.зміщення
-0,25	30,00	29,95	29,82	29,79
-0,20		29,95		29,80
-0,15		29,96		29,80
-0,10		29,96		29,81
-0,05		29,97		29,82
0,05		29,98		29,83
0,10		29,99		29,84
0,15		29,99		29,84
0,20		30,01		29,85
0,25		30,01		29,86



Висновок: 1. У результаті тангенціального відхилення вершини різця, що складає всього 50 мкм відхил половинного профілю нарізі теоретично може скласти $0,19^\circ$, що складає 38% від загального допуску на профіль половинного кута.

2. При більших значеннях тангенціального відхилення відхил половинного профілю може теоретично сягати до $0,21^\circ$, що становить 42% відхилення на половинний профільний кут.

Література:

1. Онисько О.Р. Аналітичний розрахунок точності профілю поверхні гвинтової нарізі залежно від величини тангенціального відхилення установаження вершини різьового різця. [Текст] / О.Р. Онисько, // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.— 2016.—1(58).—С. 28 –34.

2. Алгоритм визначення величини відхилення профілю різьби виконаної різцем з ненульовим значенням кута нахилу різальної кромки. [Текст] / О.Р.Онисько, П. І. Войтенко, Н. О. Костюк / Наукові нотатки / Міжвузівський збірник,—2015.— №50, С.137–144.

ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА КОЛИВАННЯ ДВОСТУПІНЧАСТИХ КОНСОЛЬНИХ БОРШТАНГ ПРИ ТОНКОМУ РОЗТОЧУВАННІ

Баланюк Г.В., старший викладач, Оргіян О.А., д.т.н. професор, Черкалін А. магістрант.

Одеський національний політехнічний університет

Сучасні тенденції розвитку технології машинобудування, відображаючи зростаючі вимоги до експлуатаційних якостей машин, вимагають вирішення низки завдань, пов'язаних з дослідженням динамічних явищ при механообробці.

Рішення задач динаміки в технології механообробки знайшло своє відображення в напрямку - технологічна динаміка, як складової частини технології машинобудування. Складні динамічні взаємодії в пружньо-дисипативно-інерційній системі в загальних випадках представляють сукупність вільних, вимушених, параметричних і автоколивань [1].

Концентрація і суміщення операцій є ефективним ресурсом в підвищенні точності і продуктивності тонкого розточування [2]. Одним з найважливіших завдань технології машинобудування є широке впровадження в технологічні процеси механічної обробки багаторізованих інструментальних налагоджень.

Обговорюючи результати по багаторізовому тонкому розточуванню, опубліковані в технічній літературі, можна відзначити, що, не дивлячись на актуальність обговорюваної проблеми, кількість публікацій невелика і в більшій мірі обмежена питаннями, пов'язаними з конструкцією багаторізованих розточувальних головок (або спеціальних борштанг).

В роботі експериментально досліджені коливання необертюваних двоступінчастих борштанг при зміні глибини різання на різцях. Стенд та вимірювальна апаратура для дослідження коливань борштанг наведені на рисунку 1 [3].

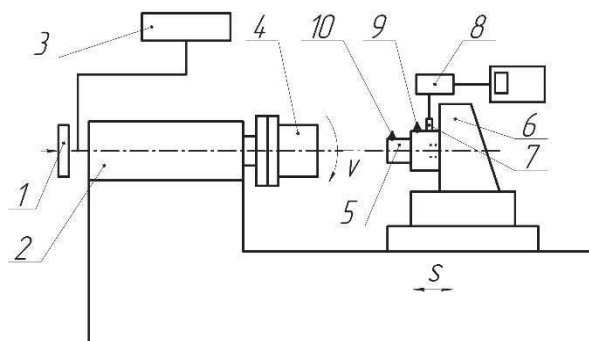


Рис.1. Фото та схема експериментального стенду для дослідження коливань необертюваними борштангами: 1 - тахометр; 2 - шпиндельна головка; 3 - перетворювач частоти; 4 - заготовка; 5 - борштанга; 6 - пристосування; 7 - п'єзодатчик; 8 - аналізатор спектру вібрацій; 9 – різець №1; 10 – різець №2.

В експериментах в якості вимірювальної апаратури застосовувався аналізатор спектру вібрацій, п'єзодатчик якого встановлювався на спеціальній лисці, виконаній поблизу закладення борштанги.

На рисунку 2 приведені осцилограми коливань при роботі різця №2 і одночасній роботі двох різців, різець №1 встановлено на ступені $\varnothing 60$, різець №2 встановлено на ступені $\varnothing 30$.

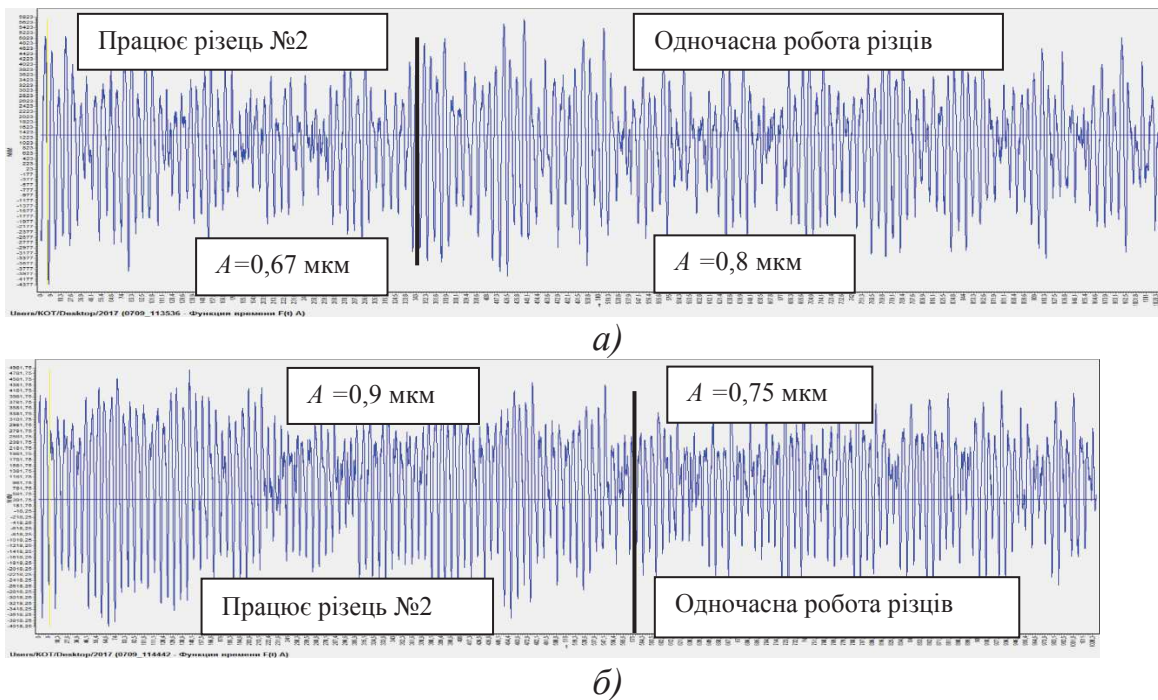


Рис.2. Осцилограми тонкого розточування різцем №2 і при одночасній роботі різців при різних глибинах різання; опрацьований матеріал сталь 45, режими різання: $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$, $s = 0,09 \text{ мм/об}$, $l = 0,16 \text{ м}$, $l_1 = 0,12 \text{ м}$, $l_2 = 0,04 \text{ м}$, а) – $t_1 = 0,1 \text{ мм}$, $t_2 = 0,2 \text{ мм}$; б) – $t_1 = 0,2 \text{ мм}$, $t_2 = 0,1 \text{ мм}$.

При обробці осцилограми, наведеної на рисунку 2а, отримані такі результати: при роботі різця №2 амплітуда коливань $A = 0,67 \text{ мкм}$, $f_c = 162 \text{ Гц}$, при одночасній роботі різців $A = 0,8 \text{ мкм}$, $f_c = 156 \text{ Гц}$; на рис.2б: при роботі різця №2 амплітуда коливань $A = 0,9 \text{ мкм}$, $f_c = 168 \text{ Гц}$, при одночасній роботі різців $A = 0,75 \text{ мкм}$, $f_c = 158 \text{ Гц}$.

Порівнюючи результати експериментів при різних зусиллях різання, що діють на різці, відзначимо, що збільшення глибини різання на ступені з більшим діаметром у порівнянні з глибиною різання на ступені з меншим діаметром, призводить до підвищення стійкості процесу різання при одночасній роботі різців і, навпаки, збільшення глибини різання на ступені з меншим діаметром у порівнянні з глибиною різання на ступені з більшим діаметром, призводить до зменшення вібростійкості.

Література:

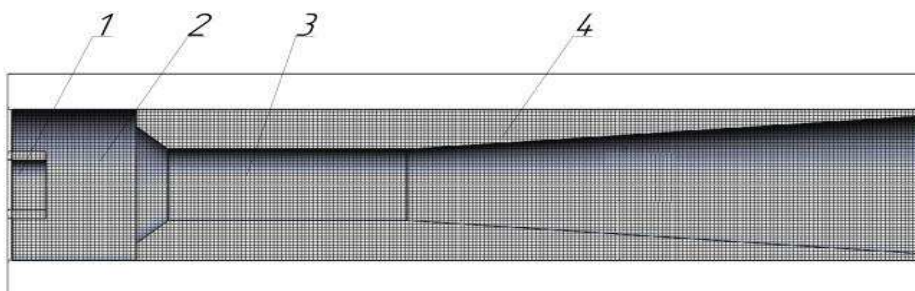
1. Копелев Ю.Ф., Оргиян А.А., Кобелев В.М. Параметрические колебания металлорежущих станков. / Под общей редакцией Копелева Ю.Ф. – Одесса: Печатный дом, ОНПУ, 2007. – 352 с. ISBN 978-966-389-103-3
2. Баланюк А. В. Виброустойчивость трехступенчатых консольных борштанг при тонком растачивании /А.В. Баланюк // Матеріали ХІХ - МНТК "ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ОСВІТА". – с. 65-67, 19-22 червня 2018 року, м. Київ.
3. Оргиян А.А. Экспериментальные исследования колебаний и точности обработки при многолезцовом тонком растачивании. / А.А. Оргиян, А.В. Баланюк, Б.О. Ткаченко // Сучасні технології в машинобудуванні, зб. наук. праць. – Вип. 13 – Харків: НТУ «ХПИ», С. 111-125, 2018.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА

Крижанівський Є.І., д.т.н., професор, Паневник Д.О., асистент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Застосування нетрадиційних технологій дозволяє інтенсифікувати процеси будівництва та експлуатації нафтових і газових свердловин. Відсутність рухомих частин, нескладна конструкція та низька вартість виготовлення зумовили поширеність використання свердловинних струминних насосів при реалізації окремих технологічних операцій розробки покладів вуглеводнів. Визначальною перевагою використання свердловинних струминних насосів є можливість збереження проникності продуктивного горизонту під час його первинного розкриття [1], зростання терміну експлуатації старіючих газових родовищ [2], здатність здійснювати утилізацію спалюваного в факельних системах низьконапірного нафтового газу [3] та видобування важкої нафти [4].

З метою дослідження розподілу кінематичних параметрів гідравлічних потоків в проточній частині струминного насоса було проведено імітаційне моделювання за допомогою пакета програм SolidWorks. В процесі моделювання в даному комплексі програм було створено тривимірну модель струминного насоса (рис. 1) та обрано необхідний блок програми SolidWorks-FlowSimulation, що дозволило побудувати профілі швидкостей змішуваних потоків.



*Рис. 1. Розрахункова модель проточної частини струминного насоса:
1 – робоча насадка; 2 – приймальна камера; 3 – камера змішування; 4 – дифузور.*

Граничними умовами було прийнято значення витрати робочого і інжектваного потоків та величину тисків в характерних перерізах струминного насоса. Для створення внутрішньої області течії та окреслення розрахункового простору проточної частини струминного насоса використано обмежувальні площини. В процесі поділу моделі струминного насоса на розрахункові елементи сітка скінчених елементів в області входу в камеру змішування виконана більш щільною. Нерівномірна сітка скінчених елементів дозволила підвищити точність побудови профілів швидкостей при незначному зростанні тривалості проведення розрахункових операцій.

В результаті імітаційного моделювання були отримані профілі швидкостей у вихідному перерізі камери змішування для різних співвідношень коефіцієнта інжекції i та основного геометричного параметра K_p струминного насоса (рис. 2).

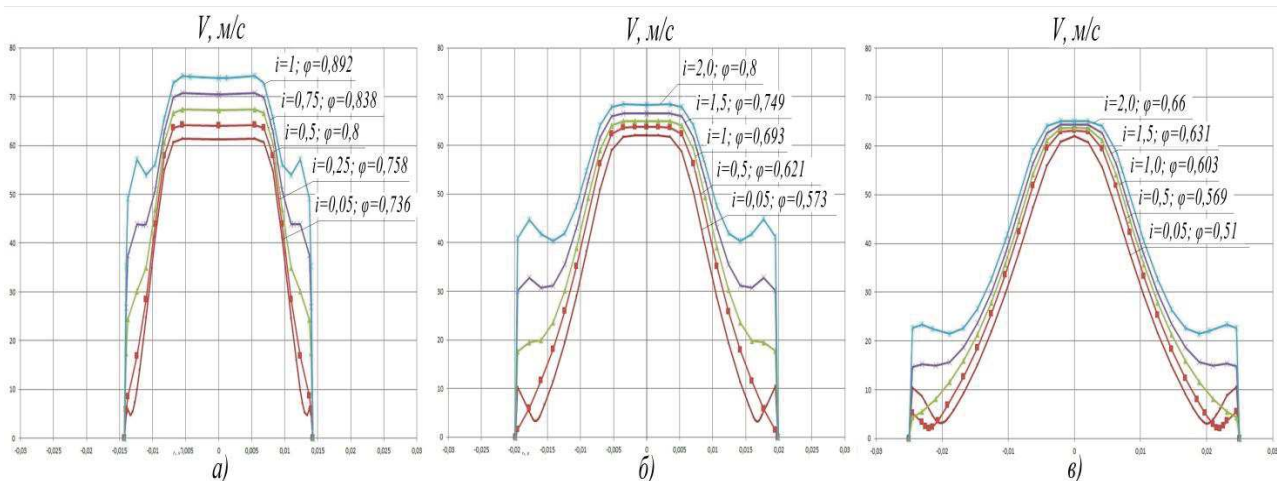


Рис. 2. Профілі швидкостей у вхідному перерізі камери змішування для різних співвідношень коефіцієнта інжекції i та основного геометричного параметра K_p струминного насоса:
 а) $K_p = 2,041$; б) $K_p = 3,95$; в) $K_p = 6,25$.

Отримані результати узгоджуються з CFD-моделюванням трансформації профілю швидкостей в проточній частині струминного насоса з використанням моделей турбулентності. На основі платформи ANSYS Workbench отримано [5] зменшення нерівномірності розподілу швидкостей при зростанні відстані між робочою насадкою та камерою змішування струминного насоса.

Проведені дослідження дозволяють підвищити ефективність проектування конструкцій та режимів експлуатації свердловинних струминних насосів.

Література:

1. Yong H. Study on structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient /H.Yong, Z.Lihong, Z.Deyong, L.Hualin, W.Jinying, Y.Jinshen, Z.Yugang, W.Zhibin // Proc. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore, August 22-24, 2016.- no180539-MS.-9 p. Available at: < <https://doi.org/10.2118/180539-MS>.
2. Syed M.P. Surface jet pumps enhance production and processing /M.P.Syed, B.Najam, S.Sacha //Journal of Petroleum Technology.-2014.- Vol.66.- N11,P.134-136.
3. Leagas T. Ejector Technology for efficient and cost effective flare gas recovery /T.Leagas, G.Seefeldt, D.Hoon //Proc. GPA-GCC 24th Annual Technical Conference, Kuwait City, May 10-11, 2016.-10 p. Available at: < <https://www.zeeco.com/.../GPA-Kuwait-Final-Paper-2016.pd...>
4. Mohammed S. K. The experience of using jet pumps with hydraulic pumping bottom-hole assemblies to reactivate Idle Wells in a heavy oil reservoir in the East Soldado field /S.K.Mohammed // Proc. SPE Trinidad and Tobago Section Energy Resources Conference, Port of Spain, June 13-15, 2016.- no180799-MS.-8 p. Available at:< <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-180799-MS>.
5. Aldas K. Investigation of effects of scale and surface roughness on efficiency of water jet pumping CFD /K.Aldas, R.Yapici // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics .-2014.-Vol. 8.- N1.- P.14-25.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРДЛОВИННОГО СТРУМИННОГО НАСОСА

Паневник Д.О., асистент, Паневник О.В., д.т.н., професор

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Постійне зростання об'ємів застосування гідроструминної експлуатації нафтових свердловин вимагає розвитку теоретичних питань [1], спрямованих на удосконалення методів прогнозування режиму роботи ежекційних систем в свердловині. Поширеність використання нафтогазових ежекційних технологій зумовлена нескладною конструкцією струминного насоса, відсутністю рухомих частин, можливістю його застосування в агресивному середовищі та в складних умовах експлуатації свердловин [2]. Використання свердловинних ежекційних систем дозволяє збільшити тривалість фонтанної експлуатації свердловин, підвищити ефективність застосування електровідцентрових [3] та штангових глибинних [4] насосів за умови їх спільного компонування з струминним насосом.

Найбільш поширена методика розрахунку напірної характеристики ежекційної системи, заснована на використанні закону збереження кількості руху рідини в камері змішування струминного насоса. Для розрахунку відносних гідравлічних втрат в робочому потоці $\Delta P_k/\Delta P_p$ на ділянці між робочою насадкою та камерою змішування застосовуємо метод послідовних наближень.

Розроблена авторами аналітична методика визначення гідравлічних втрат в робочому потоці струминного насоса на основі програмування алгоритму розрахунку із застосуванням середовища Delphi та програмних ресурсів Matchad дозволяє збільшити точність моделювання робочого процесу ежекційної системи та підвищити ефективність розробки покладів нафтогазових вуглеводнів.

Відповідно до розробленого алгоритму (рис. 1) програми розрахунку після введення значень емпіричних коефіцієнтів швидкостей в характерних перерізах струминного насоса φ_1, φ_4 та геометричного параметра струминного насоса $K_{сн}$, задаємо значення відносних втрат $\Delta P_k/\Delta P_p$. Після розрахунку уточненого значення даного параметра здійснюємо порівняння заданої (P) та уточненої (dP) величини відносних втрат. Значення параметра t

$$t = \text{abs}(dP - P) < 0,001 \quad (1)$$

визначає точність проведення розрахунків. Шляхом введення даного значення визначаємо величину, яка забезпечувала б задовільну з точки зору досягнення необхідної точності різницю параметрів. Після виконання даної умови розрахунки будуть припинені.

Розроблений алгоритм розрахунку із застосуванням середовища Delphi та програмних ресурсів Matchad може використовуватись на стадії проектування та експлуатації свердловинних струминних насосів.

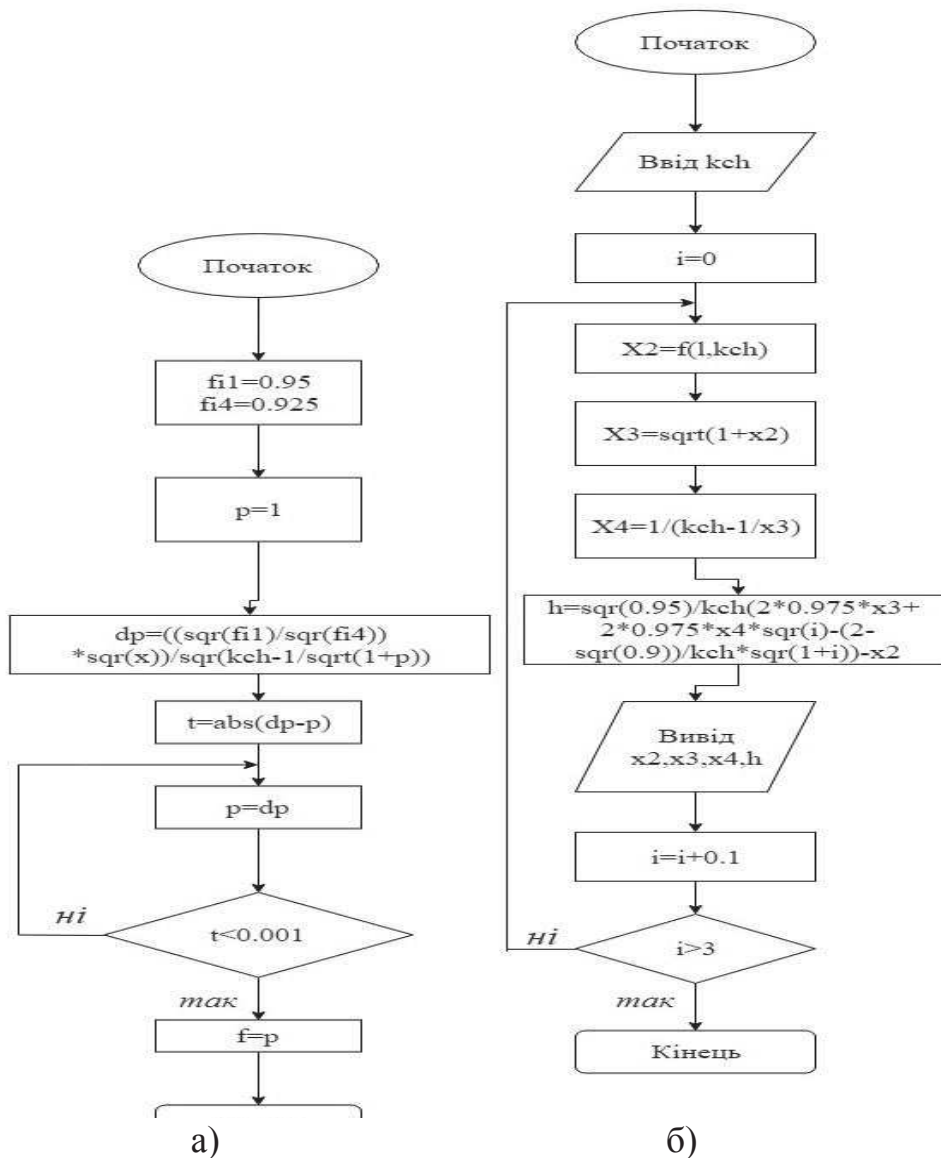


Рис. 1. Розрахунок напірної характеристики струминного насоса
 а) визначення відносних втрат тиску в робочому потоці;
 б) визначення відносного напору струминного насоса.

Література:

1. Паневник О.В. Моделювання робочого процесу нафтового струминного насоса /О.В. Паневник, І.Ф. Концур, Д.О. Паневник // Нафтогазова галузь України.-2106-№6.-С. 26-28.
2. Паневник А.В. Определение эксплуатационных параметров наддоложной эжекторной компоновки /А.В. Паневник, И.Ф. Концур, Д.А. Паневник // Нефтяное хозяйство.- 2018.- №3.- С.70-73.
3. Nunez O.A. Gas lift jet pump hybrid completion reduces non-productive time during unconventional well production /O.A. Nunez, T.S. Pough, I. Hubbard // SPE Argentina Exploration and Production of unconventional Resources Symposium, Buenos Aires, Argentina, 1-3 June 2016. - SPE - 180958 - MS. - 9 p.
4. Дубей О.Я. Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів шляхом застосування нафтогазових ежекторів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12/ Дубей Ольга Ярославівна. - Івано-Франківськ, 2017. - 217 с.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ ЗБІРНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Пасічник В. А., д.т.н., професор, Яковенко Д.В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

За допомогою теорії розмірних ланцюгів розв'язують чисельні конструкторські, технологічні та метрологічні задачі [1], зокрема, встановлення геометричних і кінематичних зав'язків між розмірами деталей; розрахунок номінальних значень, відхилень та допусків розмірів ланцюгів; розрахунок норм точності та розробка технічних умов на машини та її складові частини; аналіз правильності проставлених розмірів і відхилень на робочих кресленнях деталей; розрахунок міжопераційних розмірів, припусків і допусків, перерахунок конструкторських розмірів на технологічні операції (вибір варіанту базування); обґрунтування послідовності технологічних операцій при виготовленні та складанні виробів; обґрунтування і розрахунок необхідної точності пристроїв; вибір засобів і методів вимірювання, розрахунок точності вимірювань.

Ефективним засобом аналізу розмірних ланцюгів є розмірний аналіз, який у [2] було визначено як «цілісний аналіз, здатний описати кумулятивний ефект накопичення варіації (*Accumulation of Variation*), накопиченням помилок (*Accumulation of Error*), аналізу відповідності (*Stack-Up Analysis*), аналізу допустимих відхилень (*Tolerance Analysis*)». Накопичувальний ефект варіацій починається з першого технологічного процесу виготовлення елемента, і продовжується протягом всього життєвого циклу, створюючи таким чином ланцюг накопичених варіацій. Аналіз допустимих відхилень є загальним терміном у галузі машинобудівного виробництва та спрямований на зменшення дефектів кінцевого виробу, а також на покращення якості виробу шляхом зменшення варіацій кінцевого виробу. Задача проведення аналізу допустимих відхилень полягає в прогнозуванні впливу зміни виробничих процесів на продуктивність виробництва та вартість кінцевого виробу [3].

Розрізняють різновиди розмірного аналізу: метод мінімуму-максимуму (*Worst-Case Method* [4]); ймовірнісний метод (*Statistical Tolerance Analysis Root Sum Square Method* [5]); метод статистичних випробувань (*Monte Carlo Method* [6]); метод векторної петлі (*Vector-Loop Tolerance Models* [7]); метод лінеаризацій (*Linearization Method* [8]). Основні переваги і недоліки означених методів, особливо в частині аналізу складних за формою об'єктів і збірок визначені у [9].

Постійне підвищення складності геометричних характеристик виробів збільшує вплив розмірного аналізу на процес конструювання та вибору технологічних операцій виготовлення виробів. Ігнорування чи неглибоке проведення розмірного аналізу призводить до виготовлення невідповідних за геометричними параметрами деталей. Невідповідність отриманої геометрії виробів ускладнює та підвищує вартість процесу складання збірки, що може

негативно вплинути на якість всього кінцевого продукту, що в свою чергу знижує його конкуренцію на ринку [10]. Для того, щоб аналізувати геометричні відхилення вже під час проектування деталей, розроблені інструменти САТ (*Computer-Aided Tolerancing*). Ці інструменти дозволяють вирішувати різні завдання у сфері управління геометричними варіаціями, таких як уточнення допустимих відхилень, розмірний аналіз, розмірний синтез. Для середовища проектування САТІА розроблена низка модулів розмірного аналізу, а саме: *Sigmatix CETOL 6 Sigma*, *eM-TolMate*, *VSA-GDT & VSA-3D*, *3DCS*. Порівняльний аналіз цих модулів [9] показав значні переваги модулю 3DCS, який було використано для моделювання точності збірки різальних інструментів.

Створення та підготовку моделі до аналізу в модулі 3DCS слід розбити на такі етапи: побудова твердотілої моделі; визначення послідовності складання; визначення геометричних допусків; побудова вимірювань. Модуль 3DCS ґрунтується на теорії представлення допустимих відхилень топологічно та технологічно пов'язаних поверхонь (*Topologically and Technologically Related Surfaces – TTRS*), що описує та класифікує поверхні та визначає їх алгебраїчний запис. Модель ґрунтується на послідовних зв'язках між елементарними поверхнями. Елементарні поверхні або об'єднання декількох реальних поверхонь об'єкта класифікуються за ступенями їх інваріантності. Під інваріантністю розуміють такі переміщення та обертання, при яких геометрія залишається незмінною. Існує 7 класів інваріантності: сферичний, плоский, циліндричний, гвинтовий, обертальний, призматичний та комбінований. Геометрія кожного з класів пов'язана та описується за допомогою мінімального зв'язаного геометричного елемента (*Minimal Reference Geometric Element – MRGE*), який є комбінацією простих геометричних об'єктів, таких як площина, лінія та точка. Використання MRGE дозволяє спростити розташування досліджуваного об'єкта в евклідовому просторі деталі, що розглядається. Для описання геометрії поверхні реального об'єкта за допомогою 7 класів інваріантності нам доступні 28 різних комбінацій простих геометричних об'єктів, які й є TTRS.

Основні етапи підготовки варіаційної моделі можна розбити на наступні пункти: створення схематичного зображення збірки; визначення комплексу баз (*DRF – Datum Reference Frame*) для кожної поверхні, компонентів збірки та збірки; перетворення поверхонь; створення збірки; виведення рівняння функціональних вимог, які відповідатимуть вимогам точності.

Для проведення аналізу впливу допусків та граничних відхилень в середовищі модуля 3DCS було обрано збірну кінцеву фрезу ASX400R504S32 [11], в якій необхідно дослідити зовнішній діаметр, повне радіальне та торцеве биття. За результатами дослідження, при умові використання запропонованого у [9] дерева побудови та кінематичних рухів, які описують процес складання та використовуючи запропоновані допуски та відхилення на компоненти збірки, отримано такі результати: за умови дотримання всіх допусків й вимог щодо точності окремих елементів деталей, діаметр фрези буде мати відхилення в

діапазоні ± 0.3 мм, повне радіальне биття складатиме 0.01 мм, повне торцеве биття складатиме 0.02 мм.

Аналіз чутливості показав, що найбільший вплив на зміну величини зовнішнього діаметра фрези має позиційний допуск внутрішнього отвору гвинта позиційної пластини; найбільший вплив на зміну повного торцевого та радіального биття мають допуски та відхилення притискного гвинта різальної пластини. Аналіз чутливості також показав, допуски та відхилення яких компонентів можна оптимізувати для забезпечення характеристик точності.

Література:

1. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения [Текст] / Б.С. Балакшин. М.: Машиностроение, 1969. 358 с.
2. Gerth RJ, Hancock WM. Computer aided tolerance analysis for improved process control Computers and Industrial Engineering. 38: p. 1-19.
3. J. Gao, W. K. Chase and P. S. Magleby. A New Monte Carlo Simulation Method for Tolerance Analysis of Kinetically Constrained Assemblies, Brigham Young University, Utah.
4. R.B. Fischer. Mechanical Tolerance Stackup and Analysis. Second edition, United States of America: CRC Press, 2011
5. C.-Y. Lin, W.-H. Huang, M.-C. Jeng and J.-L. Doong. Study of an assembly tolerance allocation model based on Monte Carlo simulation. Materials Processing Technology, No 70, pp. 1-8, 1995.
6. K. G. Swift, R. M, J. D. Booker and R. Batchelor. Tolerances in Assembly Stack Design, International Congress and Exposition, Detroit, 1999.
7. Charles G. Glancy. A second-order method for assembly tolerance analysis. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
8. Gao, J., K. W. Chase and S. P. Magleby. Comparison of Assembly Tolerance Analysis by the Direct Linearization Method and Modified Monte Carlo Simulation Methods, Proc. of the ASME Design Engineering Tech. Conf., 1995, pp. 353-360.
9. Яковенко Д.В. Комп'ютерне моделювання забезпечення точності збір-ного різального інструменту. Дис. маг., К., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, 92 с.
10. M. Yu, Y. Yan, J. Hao and W. Guoxin. A Nonlinear Tolerance Analysis Using Worst-Case and Matlab, Advanced Materials Research, pp. 1-7, 2011.
11. Вращающийся инструмент Mitsubishi. Каталог 2014 [Електронний ресурс]. Режим доступу - URL: http://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/product/pdf/c_n_other/c006r_k.pdf (дата звернення: 15.12.18)

ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ГВИНТОВИХ СПІРАЛЕЙ

Пилипець М.І., *д.т.н., професор*, Лясота О.М., *к.т.н., доцент*

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Полюя

Ефективність застосування того чи іншого варіанту конструкції гвинтових спіралей і методу їх формоутворення у кожному конкретному випадку враховують ступінь складності виготовлення навивної заготовки, який оцінюється переважно двома параметрами: коефіцієнтом нерівномірності витяжки ψ і зведеною висотою $b_{зв}$.

Коефіцієнт нерівномірності витяжки враховує пластичність матеріалу та його граничне значення, яке пов'язане з відносним видовженням δ_5 в умовах стандартного дослідження металу розтягом наближеною залежністю:

$$\psi_{\text{дон}} = (1 + 2 \delta_5)^2. \quad (1)$$

Зведена висота заготовки визначається за залежністю $b_{зв} = (\Psi - 1)^x K_e b'$, де K_e – коефіцієнт, який враховує параметри процесу формоутворення, $K_e \approx 0,7 \dots 1,1$; b' – питома висота, відношення ширини стрічки до висоти. Зведена висота бере до уваги стійкість процесу навивання [1].

Розроблене устаткування та спорядження [2] дають змогу навивати заготовки з $b_{зв} = 12 \dots 15$ та відношенням ширини стрічки до висоти $B/H = 19 \dots 21$, тим самим значно розширюється діапазон типорозмірів навивання спіралей.

Для визначення конструктивних параметрів інструментів, які забезпечують навивання гвинтових стрічок прямокутної і конічної форм на оправу, розглянемо умови згину стрічки обтискним роликом, що має притискний борт і в процесі навивання переміщується з повздовжньою подачею, відповідно до максимальної товщини витка спіралі. Внаслідок зминання стрічки за зовнішнім краєм від дії обтискного ролика ширина спіралі B_l зменшується порівняно з шириною заготовки на $\Delta B = B - B_l$. З урахуванням ділянки зминання значення плеча l прикладення сили P

$$l = l_0 + \frac{l_k}{2}, \quad (2)$$

де l_0 – плече прикладення сили P за відсутності ділянки зминання,

$$l_0 = \sqrt{A^2 - \left(\frac{D_p + d_o}{2} + B_l \right)^2} = \sqrt{(D_p + d_o + 2B_l)(H_k - B_l)}; \quad (3)$$

l_k – довжина зони пластичного контакту стрічки з роликом,

$$l_k = \sqrt{(D_p - \Delta B)\Delta B}, \quad (4)$$

де A – міжосьова відстань між оправою і обтискним роликом;

D_p – діаметр обтискного ролика;

d_0 – діаметр оправи;

H_k – висота калібру між поверхнями оправи і згинного ролика.

Висота калібру ролика $H_k = 0,5(D - d) - 0,5 \dots 1$ мм, а діаметр його притискної поверхні $D_p > 30H_0$.

Якщо прийняти відповідний поперечний переріз стрічки, то подача обтискного ролика відповідає максимальній ширині перерізу стрічки:

$$S = H_0 \sqrt[4]{R/r} \quad (5)$$

Зовнішній діаметр більшої ступені оправи визначають із умови

$$D_{np} = d_0 + (0,95 \dots 0,98)(D - d). \quad (6)$$

Крок гвинтової торцевої поверхні більшого ступеня має дорівнювати товщині витка заготовки за внутрішнім ребром $T = H$.

В умовах неперервного сходження стрічки з робочої зони діаметр робочої частини оправи d_0 розраховують за залежністю

$$d_0 = \frac{2B(1 - 0,022T/d)}{\psi - 1} \quad (7)$$

Зовнішні діаметри нерухомої D_H і шпонкової $D_{ш}$ втулок визначають із співвідношення

$$D_H = D_{ш} = d_0 + (D - d) - 2 \dots 4 \text{ мм}. \quad (8)$$

Ширина шпонкової втулки $B_{ш} = (0,8 \dots 1,2)D_0$, а ширина нерухомої має враховувати геометричні параметри виконання гальмівного пристрою. Крок гвинтових торцевих поверхонь кожної із втулок повинен відповідати ширині витка за внутрішнім краєм. Довжину робочої частини оправи (від нерухомої втулки) розраховують за залежністю

$$L_p = 3H_0 \sqrt[4]{R/r} + B_{ш} \quad (9)$$

а її калібрувальну частину довжиною $l_k = (3 \dots 4)H_0$ виконують з діаметром d_0 , а іншу (з боку вільного кінця) – із зменшенням діаметра на $0,3 \dots 0,6$ мм. Слід відзначити, що навивання спіралей з великим співвідношенням B/r (більше $0,6 \dots 0,8$), а також виготовлення спіралей із пружинних сортів сталі, внаслідок недостатнього зчеплення стрічки з оправою (особливо, якщо остання гартована), може перервати процес навивання. Тому для підвищення його стійкості на калібрувальну частину оправи необхідно нанести повздовжні нарізи.

Таким чином, можна рекомендувати наступні технологічні вимоги, які ставляться до устаткування та спорядження:

- забезпечення концентрації операцій при виготовленні заготовок для спіралей шнеків (навивання, калібрування за кроком, відрізання тощо);

- універсальність конструкції устаткування, яка повинна забезпечувати швидке переналагодження з одного типорозміру заготовок на інший;

- забезпечення необхідної жорсткості механізмів осьового і радіального обтискування, калібрувального й відрізного пристрою за умови регулювання осьової відстані;

- для усунення гофроутворення осьова подача механізму притискування (притискного ролика) повинна дорівнювати товщині витка за внутрішнім діаметром;

- для покращення умов навивання спіралей і зменшення деформації за зовнішнім діаметром, обтискування стрічки необхідно здійснювати циліндричною і торцевою поверхнями ступінчастого ролика, вісь обертання якого розміщена перпендикулярно осі оправи зі зміщенням на величину ε ;

- притискний ролик повинен бути з мілкою гвинтовою канавкою з напрямом витків, протилежним напрямку гвинтової поверхні спіралі;

- роботу поверхонь, що труться, здійснювати в режимі кочення;

- в оснащенні для неперервного навивання на торцевих частинах притискних втулок зі сторони стрічки необхідно нарізати гвинтовий виток з кроком, що дорівнює товщині стрічки;

- стрічка з рулону повинна спрямовуватись перпендикулярно осі обертання оправи з надійним її кріпленням у рухомій втулці;

- необхідно, щоб плече прикладання сили згину було менше радіуса оправи;

- для забезпечення процесу неперервного навивання в початковий момент необхідне достатнє осьове притискування перших 2-3 витків;

- діаметри притискних втулок повинні бути меншими за діаметр навитої заготовки на 6-15 мм;

- для збільшення зчеплюваності витків з оправою її поверхня повинна володіти анізотропними властивостями, для чого на ній потрібно виконувати осьові рифлення;

- для покращення сходження гвинтової стрічки при неперервному навиванні необхідно передбачати на робочій оправі, крім калібрувальної частини, і напрямну, причому діаметр останньої менше діаметра калібрувальної на 0,2-0,5 мм;

- забезпечити неперервне змащування стрічки й охолодження інструментів у процесі формоутворення.

Література:

1. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин : дис. ... доктора технічних наук : Пилипець Михайло Ількович - Львів, 2002.-445 с, 2002

2. Пат. № 51099 А Україна, МКВ В21D11/06. Спосіб формоутворення профільних гвинтових заготовок та верстат для його реалізації / В.В. Васильків, Б.В. Гупка, М.І. Пилипець, І.Б. Гевко, О.М. Лясота (Україна).- № 2001129241; Заявл. 29 12 2001; Опубл.15.11.2002, Бюл. №11

ВИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ ПОРИСТОГО ПРОНИКНОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ CAE

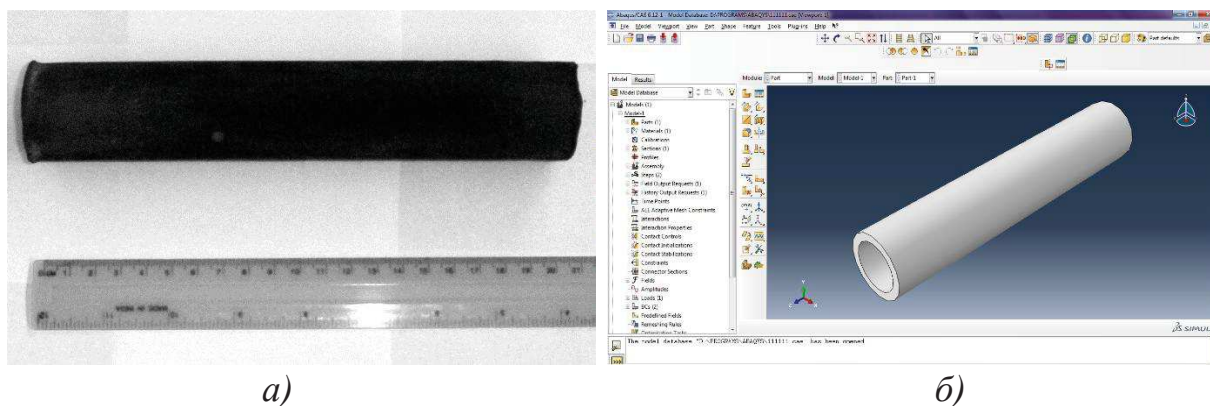
Повстяной О.Ю., к.т.н., доцент; Сичук В.А., к.т.н., ст.викладач;
Полінкевич Р.М., к.т.н., доцент, Четвержук Т.І., к.т.н., ст.викладач
Луцький національний технічний університет

Сьогодні проблеми створення пористих середовищ вирішуються на основі застосування комп'ютерного моделювання, яке дозволяє оптимізувати технологію отримання пористих проникних матеріалів (ППМ). Дане впровадження стало можливим завдяки істотному прогресу в розумінні основних особливостей поведінки порошкових матеріалів у процесі їх деформаційної обробки, досягнутого в останні десятиліття.

Програмний скінченно-елементний комплекс ABAQUS – універсальна система загального призначення, використовується як для проведення багатоцільового інженерного аналізу, так і для науково-дослідних і навчальних цілей в різних сферах діяльності.

За допомогою комплексу ABAQUS можна вирішувати такі складні завдання, як розрахунок міцності турбомашин і проектування рухових установок, аналізувати роботу шасі і трансмісій, визначати поведінку шин, розраховувати зварні з'єднання, проводити аналіз аварійних зіткнень (краш-тести), здійснювати тести на падіння, лиття металів, пробивання матеріалу, виконувати розрахунки композиційних структур, враховувати контактну взаємодію великого числа тіл, сейсмічні впливи, вибухові впливи, проводити розрахунки надійності ядерних реакторів, аналіз міцності електронних компонентів і т.д.

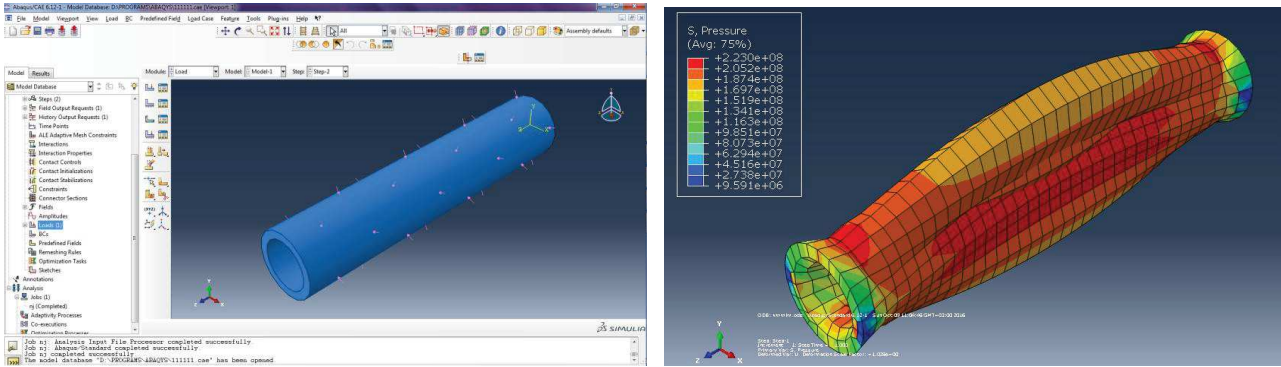
Дослідимо пористий проникний матеріал зовнішнім діаметром 40мм, внутрішнім діаметром 30мм і довжиною 220мм, виготовлений з матеріалу – порошок сталі ШХ15 (рис.1) і навантажений силою $P=10\text{кПа}$, яка прикладена до тіла ззовні та зсередини.



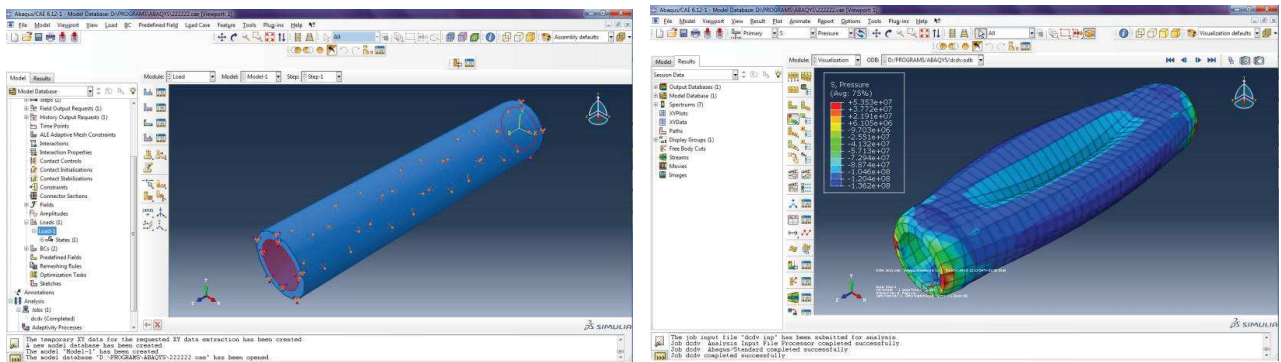
а) б)
Рис.1. Загальний вигляд ППМ, виготовленого з порошку ШХ15 (а),
та його 3D модель (б)

Як критерій міцності у програмному комплексі ABAQUS вибираємо кількість питомої потенціальної енергії формозміни, накопиченої zdeформованим об'єктом.

Для перевірки правильності проведених експериментальних досліджень було проведено моделювання прикладання напруження (за Мізесом) на ППМ за допомогою пакету ABAQUS (рис.2-4).



а) б)
Рис.2. Моделювання прикладання напруження (а) та розподіл деформацій (б) на ППМ (ззовні)



а) б)
Рис.3. Моделювання прикладання напруження (а) та розподіл деформацій (б) на ППМ (зсередини)

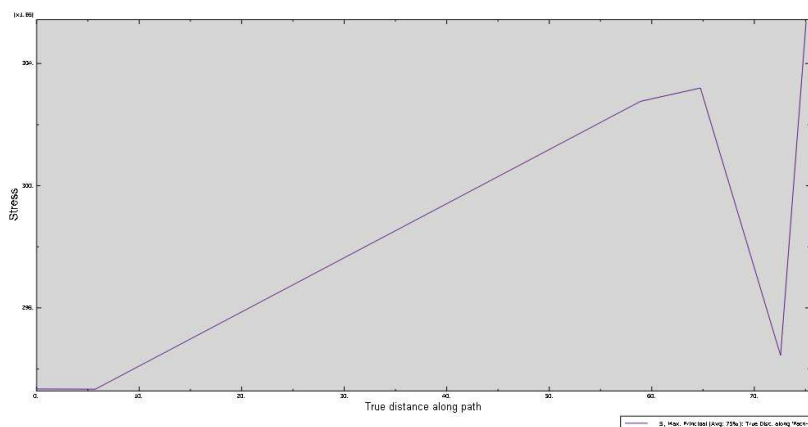


Рис.4. Графічна залежність напруження від часу при моделюванні

Організація програмного середовища моделювання ABAQUS надає можливість досліджувати та прогнозувати закономірності формування структури та властивості пористих матеріалів з урахуванням розмірів структурних елементів.

ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОПОРОШКІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПАКТІВ, ЩО БУДУТЬ ВИКОРИСТАНІ У ШЛІФУВАЛЬНОМУ І ПОЛІРУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

¹Полторацький В.Г., *к.т.н.*, ¹Петасюк Г.А., *д.т.н.*, ¹Бочечка О.О., *д.т.н.*,
¹Лавріненко В.І., *д.т.н., професор*, ¹Лещенко О.В., ²Солод В.Ю., *к.т.н.*,
³Проц Л.А., *к.т.н., доцент*

¹*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, Київ*

²*Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське*

³*Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород*

Попередніми нашими роботами показано можливість застосування компактів з мікропорошків НТМ для підвищення ефективності шліфувального і полірувального інструменту. Особливо ефективно це було досліджено для мікропорошків кубічного нітриду бору [1]. В даній роботі нами наведено результати діагностування морфометричних характеристик і фізичних характеристик мікропорошків, що надалі можуть бути застосовані як для виготовлення компактів, так і для модифікування зерен шліфпорошків синтетичного алмазу.

Пошуково-аналоговим методом виконано автоматизовану ідентифікацію форми проекції зерен порошоків, призначених для виготовлення компактів та модифікації поверхні. Встановлено, що домінуючими є проекції у формі прямокутника (29,6 % зерен), квадрата (23,6 %), правильного шестикутника (23,0 %) та рівнобедреної трапеції (20,3 %). Загальна відносна кількість зерен з такими формами проекції складає 96,5 %. Коефіцієнт однорідності, визначений розробленим методом складає 19 %, що вказує на неоднорідність порошку за формоподібністю проекції зерен.

Отриману інформацію в подальшому буде використано при визначенні товщини покриву зерен як окремо термостійкими оксидами (B_2O_3 , CrO_3), так і в їх суміші з хлоридами ($BaCl_2$, $CaCl_2$, $NaCl$).

Виконано дослідження з визначення структурних, магнітних, електричних характеристик та технологічних властивостей порошоків сVN, призначених для виготовлення модифікованих компактів, що будуть використані в шліфувальному інструменті. Результати визначення структурних, магнітних, електричних характеристик та технологічних властивостей порошоків, призначених для виготовлення модифікованих компактів, представлено в таблиці 1. Додатково досліджено зерновий склад та структуру початкових порошоків сVN: КМ 3/2, КМ 2/1, КМ 1/0 (рисунок 1). Видно, що в порошок зернистості 1/0 є значна частка субмікропорошків (0.5/0). Результати структурних досліджень свідчать, що основну масу кубічного нітриду бору складає сфалеритна (КНБ) модифікація, також присутня і невелика кількість вюрцитної модифікації нітриду бору, що також свідчить про можливість утворення ниткоподібних кристалів в компактах.

Таблиця 1. Фізико-хімічні, магнітні та електричні властивості порошків cVN (КМ 3/2, КМ 2/1, КМ 1/0), призначених для виготовлення модифікованих компактів, що будуть використані в шліфувальному інструменті

Показник	Од. вимір.	Зернистість		
		3/2	2/1	1/0
Питома магнітна сприйнятливість, χ	$10^{-8} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$	3,5	2,1	0,22
Електроопір	$10^8 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}$	3,1	2	1,8
Загальний вміст домішок	% за масою	0,290	0,210	0,115
Вміст металічних домішок	%	0,150	0,160	0,064
Питома поверхня	$\text{м}^2/\text{г}$	2,42	2,8	3,6
Адсорбційний потенціал	Дж/г	31,0	33,6	37,4
Питомий адсорбційний потенціал	Дж/м ²	10,3	12,0	13,0
Ступінь заповнення поверхні іонами Fe (з р-ну $1 \cdot 10^{-2} \cdot \text{моль/л}$)	%	60,0	44,0	38,0
Абразивна здатність		1,5	—	—

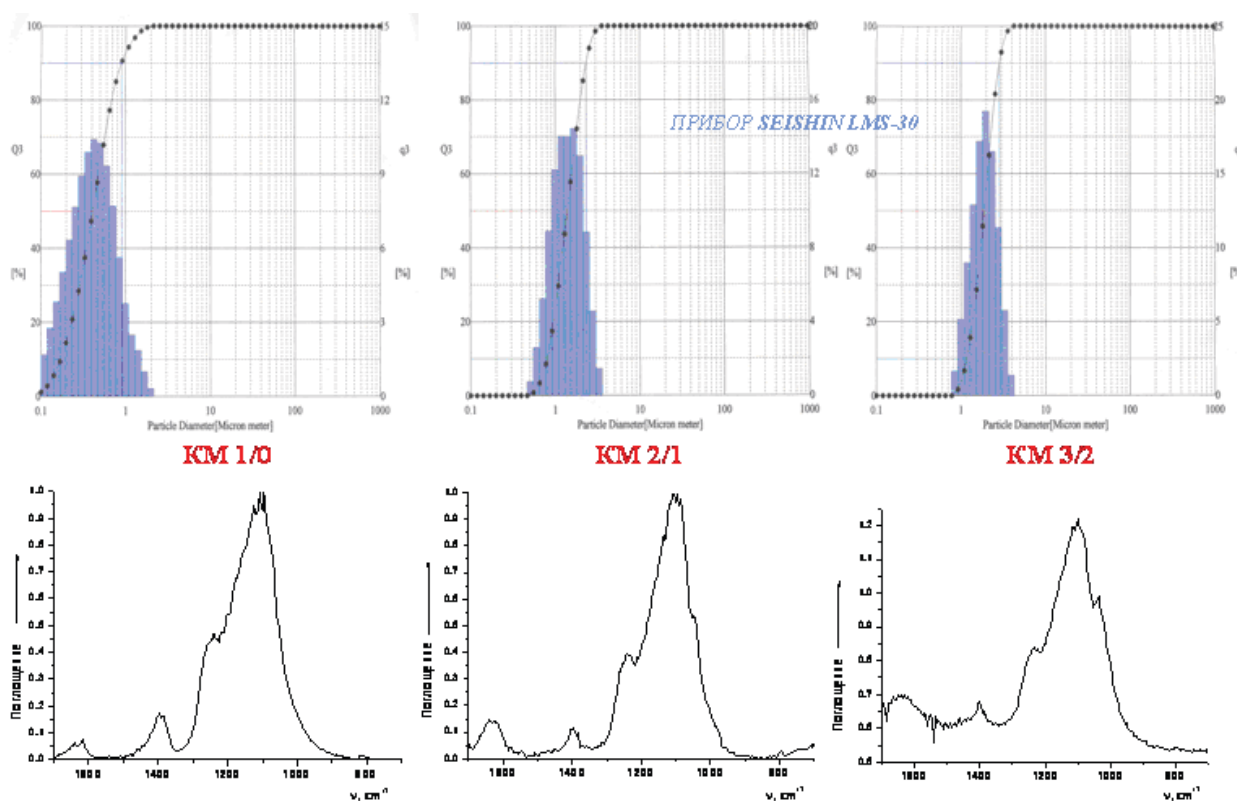


Рис.1. Зерновий склад та ІЧ спектри вихідних мікропорошків: КМ 1/0, (2/1), (3/2).

Література:

1. Лаврінченко В.І., Солод В.Ю. Інструменти из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВЕЛИЧИНИ КОНТАКТНОГО ТИСКУ МІЖ ПОВЕРХНЯМИ НАРІЗЕЙ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ОБЕРТІВ ЗАГВИНЧУВАННЯ НІПЕЛЯ У МУФТУ ЗАМКОВОГО З'ЄДНАННЯ 3-66

Пітулей Л.Д., *к.т.н., доцент*, Медвідь Ю.В., *магістрант*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Якість замкових нарізей у бурильних трубах визначають за такими параметрами: згвинчуваність, герметичність, механічна міцність з'єднання.

Усі перелічені параметри тією чи іншою мірою залежать від точності виконання профілю нарізі, а відповідно технології її виготовлення. У роботі [1] запропоновано вжити певних технологічних заходів, що дозволяють досягнути заданої точності профілю в умовах, коли межа міцності сталі буде значно вищою аніж 1300 МПА. Теоретичні аспекти, на які можна опертися при використанні таких заходів, розглянуто у роботі [2]. Тож роботи [1, 2] фактично спрямовані на забезпечення точності виготовлення профілю нарізі за умов підвищених вимог до міцності матеріалу. Робота [3] спрямована на вирішення задачі зведення до мінімуму негерметичності з'єднання бурильних труб засобами, які пов'язані із корекцією профілю різальної кромки нарізевого різця. Щодо дослідження згвинчуваності бурильного замка і конструктивних параметрів, які пов'язані з цим процесом, слід покластися на дані у роботі [4].

Згідно із даними [4] згвинчуваність, як параметр якості замкового з'єднання, може бути визначена за допомогою параметра m – кількості обертів ніпеля у процесі його повного загвинчування у муфту.

На рисунку 1 показано схему загвинчування ніпеля у муфту з такими умовними позначеннями: P – крок нарізі, φ – кут нахилу нарізі, P_1 – крок між більшими боками нарізі, α – кут профілю нарізі, x – величина взаємного переміщення поверхні нарізі ніпеля по поверхні нарізі муфти у певний момент процесу згвинчування.

Формула 1 згідно із [1] показує функціональну залежність площі взаємодіючої поверхні ніпеля і муфти у процесі їх згвинчення на певну кількість обертів m , що відповідає переміщенню точки F (рисунк 1) по більшій бічній стороні ніпеля у напрямку від точки H , тобто на певну відстань X від початку гребеня муфти:

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

де

h – робоча висота профілю нарізі;

d_1 – найбільший зовнішній діаметр нарізі ніпеля на великій основі конуса;

L – довжина конічної нарізі;

$K = 2 \operatorname{tg} \varphi$ – конічність нарізі.

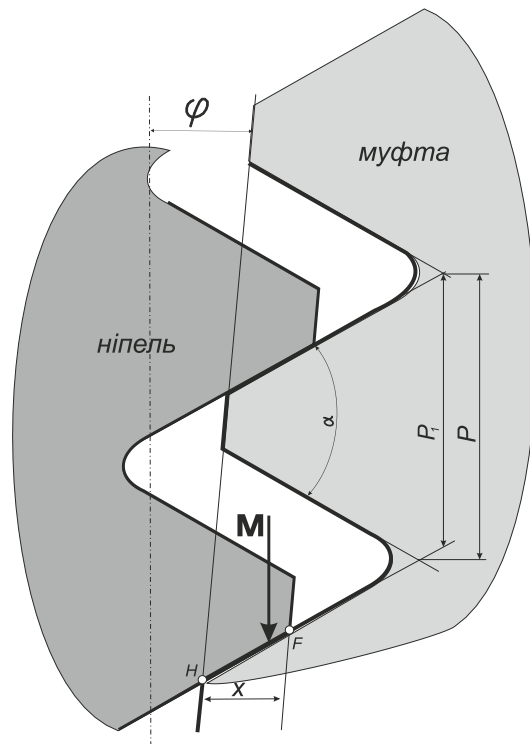


Рис.1. Схема взаємного розміщення поверхонь нарізі ніпеля (темно-сірий колір) та муфти (світло-сірий колір).

У таблицю 1 зведено дані теоретичних розрахунків, отриманих із застосуванням формули 1. У рядку 1 величину $m=0,61$ визначено у момент установлення ніпеля у муфту. Згідно із [1] величина m у такому разі може бути розрахована за формулою:

$$m = 1 - \frac{2}{P},$$

У рядку 8 таблиці 1 максимальне значення $m=3,86$ визначено згідно із [1] за такою формулою:

$$m = 1 - \frac{2a}{P},$$

У рядках 2-7 величину m підбрано із кроком – 0,5 по відношенню до значення $m=3,86$.

Контактний тиск авторами запропоновано розраховувати за формулою:

$$p_K = \frac{M \cdot 10000 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F_K} \text{ (МПа)},$$

де: M – навантаження від бурильної колони, у тонах.

Таким чином, функцію залежності контактного тиску від величини m запропоновано відобразити табличним методом (див. табл.1) і на основі отриманих табличних даних – графічним методом, як показано на рисунку 2.

Таблиця 1. Залежність величин площі контакту F_k і контактного тиску p_k на бічну поверхню замкової нарізі 3-бб від кількості обертів m під час загвинчування ніпеля у муфту під дією ваги колони величиною 10 тон. Робоча висота $h=2,626$ мм (стандарт).

№ п.п.	$F_k, \text{мм}^2$	$P_k, \text{МПа}$	m
1	660,88	131,04	0,61
2	960,35	90,18	0,86
3	1609,88	53,79	1,36
4	2327,61	37,21	1,86
5	3114,51	27,81	2,36
6	3971,50	21,81	2,86
7	4899,54	17,68	3,36
8	5899,58	14,68	3,86

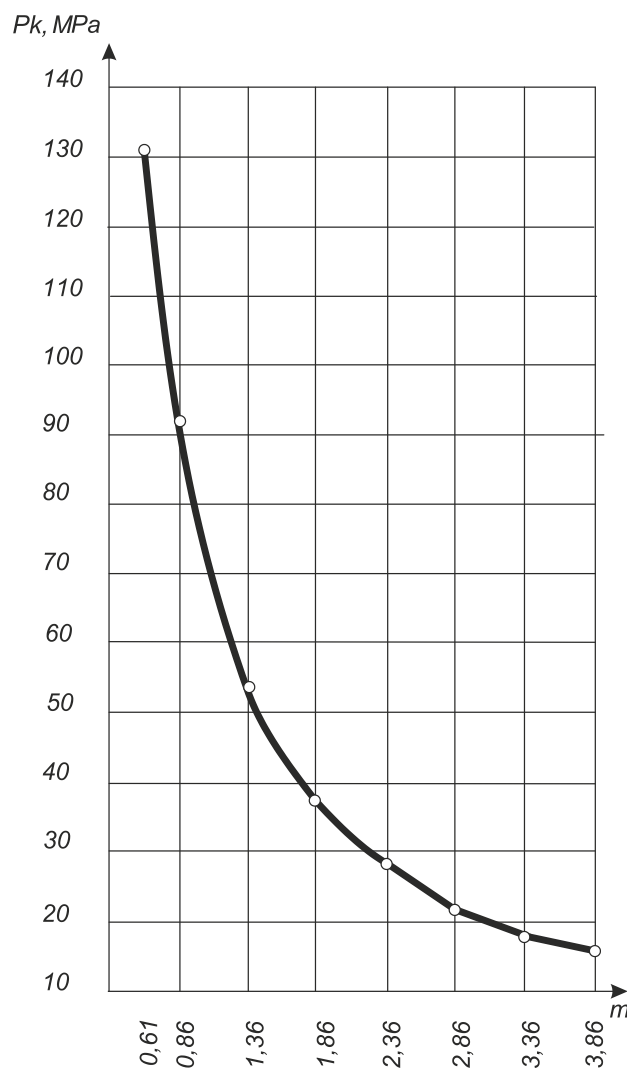


Рис.2. Графік залежності величин площі контакту F_k і контактного тиску p_k на бічну поверхню замкової нарізі 3-бб від кількості обертів m під час загвинчування ніпеля у муфту під дією ваги колони величиною 10 тон. Робоча висота $h=2,626$ мм (стандарт).

Висновок: графічна форма функції залежності контактного тиску між нарізевими поверхнями p_k замка 3-66 від кількості обертів ніпеля m у процесі його загвинчування у муфту вказує на її криволінійний ввігнутий характер, яка спадає на всьому інтервалі аргумента m : $0,61 < m < 3,86$.

Література:

1. Panchuk Vitalii. Manufacturing technology of the oil and gas drill pipe connector with low-permeability level of the drilling mud in its screw part.[Текст] / Vitalii Panchuk, Oleh Onysko, Iuliia Medvid // Acta Technica Corviniensis –Bulletin of Engi neemg Tom XI [2018] I Fascicule 4 [October-Desember]. – P. 46-53.

2. Медвідь Ю.В., Моделювання різальної частини різця для обробки конічної нарізи у нафтогазо-вих трубах / Ю.В. Медвідь, Т.В. Лукань, Л.Д. Пітулей// Матеріали Міжнародної науково- технічної конференції Машинобудування очима молодих: прогресив-ні ідеї- наука- виробництво 31 жовтня- 02 листопада 2018р.

3. Онисько О. Р. Профіль різальної кромки різців для виготовлення замкової нарізи з мінімальною негерметичністю.[Текст] / О. Р. Онисько, Л. Д. Пітулей, І. З. Довбуш// Вісник національного університету «Львівська політехніка ». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2018.- №891.– С. 42-51.

4. Семин В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин [Текст]: дис. ... докт. техн. наук : 25.00.15, 05.02.13 / Семин Владимир Иванович – Москва, 2005. – 344 с. – Библиогр.: с.232–344.

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНІЙ ОБРОБЦІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Равська Н.С., д.т.н., професор, Майборода В.С., д.т.н., професор, Слободянюк І.В., к.т.н., асистент, Родін Р.П., к.т.н., с.н.с

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В сучасному машинобудуванні все більше уваги приділяється виготовленню деталей машин та оснащення для них з матеріалів, які характеризуються особливими фізико-механічними властивостями та підвищеними вимогами до їх експлуатаційних характеристик. Ці матеріали відносяться до групи важкооброблюваних. До них також належать загартовані сталі. При їх обробці виникають значні силові навантаження та висока температура в зоні різання, що негативно позначається на продуктивності виготовлення з них деталей та на показниках якості оброблюваних поверхонь.

Одним зі шляхів інтенсифікації процесу різання цієї групи матеріалів та підвищення якості їх поверхонь є високошвидкісна обробка (ВШО), ефективність якої в великій мірі залежить від інструменту. Забезпечення зносостійкості інструменту при ВШО загартованих сталей, головним чином, здійснюється за рахунок використання інструментальних матеріалів високої теплостійкості та твердості [1, 2, 3]. Як правило, для лезової обробки використовують інструмент із цирконієвої кераміки та КНБ.

На основі аналізу особливостей ВШО загартованих сталей показано, що незалежно від методу оброблення – точіння, фрезерування, тощо всі теоретичні засади процесу базуються на аналізі особливостей стружкоутворення та зношення інструменту [4]. Незалежно від виду різання на вибір інструментального матеріалу впливає матеріал та розмір заготовки, умови обробки, аналіз обладнання та інші умови. Для ВШО широкого використання набув інструмент, виготовлений з твердого сплаву групи ТК. Як відомо, на стійкість різального інструменту впливає стан геометрії різальної частини, форма та розміри кромки, поверхнева твердість, мікрогеометрія.

Для забезпечення міцності різального леза інструменту при обробці загартованих сталей його виготовляють з від'ємним переднім кутом та захисною фаскою. Основи формування різальної кромки (РК) запропоновані Denkena в роботі [5] та наведені на рис. 1. В якості критерію класифікації РК вибрана величина K – фактору (форм – фактору), який за нахилом на передню чи задню поверхню має відповідні значення: $K=1$ – описує симетричну мікрогеометрію РК, $K>1$ має нахил на передню поверхню, $K<1$ – на задню.

В роботі розглянуті різні форми різальних кромки, які після шліфування залишаються гострими, мають низьку механічну міцність та потребують додаткового фінішного оброблення.

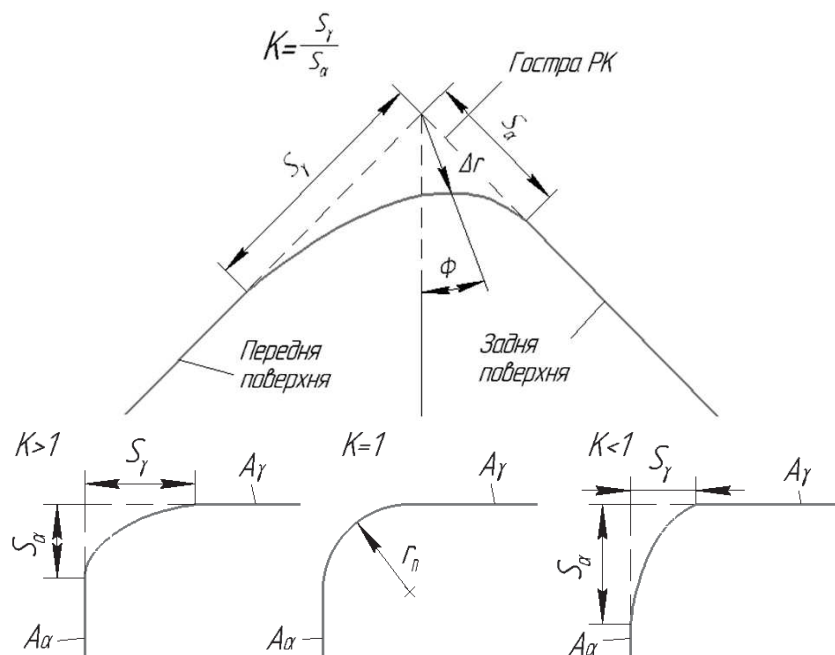


Рис. 1. Типи округлення різальних кромки

Серед існуючих методів фінішного оброблення інструмента, який дозволяє контролювано формувати задану мікрогеометрію РК, є магнітно-абразивна обробка (МАО). Проведені дослідження по МАО інструменту показують, що округлення РК значно зменшує концентратори напружень, підвищує твердість та знижує шорсткість робочих поверхонь [6].

При традиційному різанні загартованих сталей використовують твердий сплав Т30К4, який за своїми фізико-механічними характеристиками перевищує твердість інших марок цієї групи, але поступається перед ними в міцності. Тому першочерговою задачею було встановлення, наскільки за рахунок МАО можна підвищити його поверхневу твердість. Проблему його недостатньої міцності вирішують за рахунок формування геометрії різальної частини інструмента, а саме – від’ємним кутом γ та округлення РК.

Проте формування округленої різальної кромки в [5] проводилось без врахування геометрії різальної частини інструмента (в даному випадку при різанні загартованих сталей).

В даній роботі розглянуті особливості мікрогеометрії округлення РК методом МАО з врахуванням рекомендованої геометрії інструменту при обробці загартованих сталей. Розроблено методику визначення радіуса округлення РК та кута нахилу фаски. На рис. 2 наведено графічне визначення цих параметрів для загартованих сталей при від’ємному значенні переднього кута ($-\gamma$).

За даною методикою проведено моделювання округлення різальних кромки при різних значеннях K – фактору, подачі на оберт $S_0=0,05$ мм/об, та кутах γ нахилу фаски на передній поверхні відповідно рівних γ (-5° , -10° , -15°). Всього було змодельовано дев’ять варіантів округлення різальних кромки.

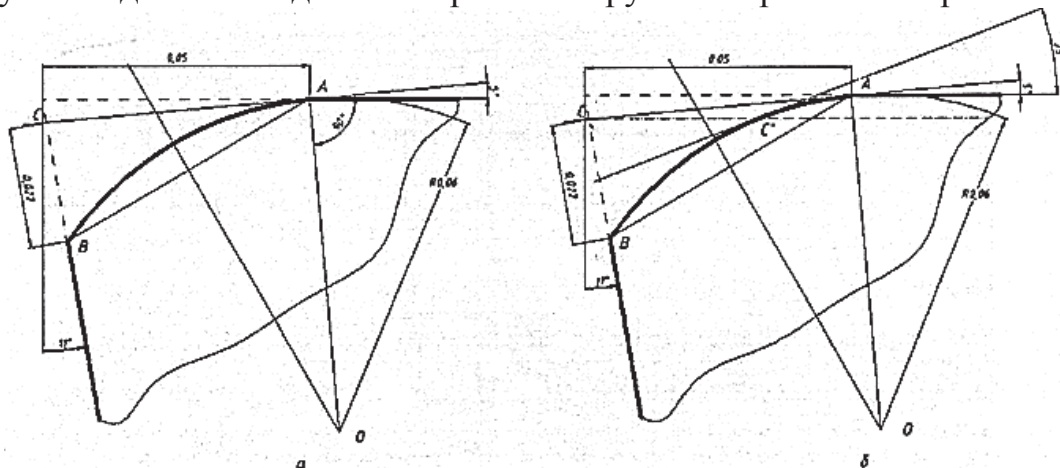


Рис.2. Визначення радіуса округлення РК (а) та кута нахилу передньої поверхні γ при обробці загартованих сталей

Процес фінішного оброблення інструменту зі сплаву Т30К4 виконували на експериментальній установці для МАО з кільцевим розташуванням робочої зони в режимі «натікання з оправки». Для перевірки можливості округлення РК методом МАО враховано рекомендовану геометрію інструменту в залежності від оброблюваного ним матеріалу за заданими формою та радіусом округлення та попередньо виконаною мікрогранкою РК.

Після округлення різальних кромок методом MAO проведені вимірювання поверхневої твердості та профіль РК. Профіль РК порівнювався зі змодельованим профілем. В результаті вимірювань профілів різальних кромок встановлена можливість виконувати округлення різальних кромок методом MAO з врахуванням рекомендованої геометрії для заданих значень К-фактору.

Література:

1. Мирошніченко В.Н. Высокоскоростная лезвийная обработка в машиностроения / В.Н. Мирошніченко, А.С. Бурлаченко // Вісн.НУК. – Миколаїв, 2010 - №5.
2. Васин С.А. Термомеханический подход к системе взаимосвязи при резании: учебник [для вузов] / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001 – 448с.
3. Wit Grzesik Podstawy skrawania materialow metalowy ch – Warszawa.
4. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч.закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброкон, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов: під заг.ред. М.П. Мазура – Львів: Новист Світ – 2000, – 422с.
5. Denkena B. Preparation of Designed Cutting Edge Microgeometries by Simultaneous 5-Axes Brushing / B. Denkena, L. Leon, E. Bassett // Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Manuf. Eng. (ICMEN) and FUREKA Brokerage Event, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 1-3 October, 2008, - pp. 117-123.
6. Джулій Д.Ю. Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні : дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Джулій Д.Ю. – Київ, 2014. – 175 с.

СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДИСКОВОЇ ОБКАТНОЇ ФРЕЗИ

Равська Н.С., д.т.н., професор, Парненко В. С., асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Автоматизоване проектування дискових обкатних фрез перш за все передбачає побудову структурної схеми САПР.

Запропонована структурна схема САПР [1, 2, 4] дискових обкатних фрез з нерівномірним кроком (рис.1), забезпечує їх проектування та розробку для обробки відрізних пил з різними вхідними параметрами.

Схема складається з взаємопов'язаних між собою двох основних блоків:

1. вхідних параметрів;
2. проектування обкатної фрези, який в свою чергу включає три підблоки:
 - теоретичні основи формоутворення відрізних пил;
 - визначення конструктивних параметрів;
 - аналіз геометричних параметрів в процесі роботи.

Вхідними параметрами для проектування обкатних фрез є параметри відрізної пили, що обробляється. Ці параметри розділяються на розрахункові та ті, що вибираються згідно рекомендацій [5, 6, 7] або за нормативними документами [3]. До розрахункових параметрів відносяться: n – число груп нерівномірних зубів, Δ_{gr} – нерівномірність зубів у групі, Ω – кут, що охоплюється однією групою зубів, ε_Z – нормальний кутовий крок, $T_{окр}$ – окружний крок, ε_0 – мінімальний крок зубів, ε_i – кутові кроки зубів у групі, H_i – висота зуба по передній поверхні.

До параметрів, які вибирають за рекомендаціями або нормативними документами, відносяться число зубів у групі - Z_{gr} , діаметр – D , загальне число зубів - Z , кут профілю - θ , передній кут - γ , нерівномірність кроку - Δ , кут - ψ (який в випадку симетричного профілю дорівнює половини кута профілю θ).

Враховуючи те, що теорія проектування таких фрез базується на теорії формоутворення, блок теоретичних основ формоутворення включає визначення зовнішнього діаметра обкатної фрези з урахуванням переточок, визначення координат точок різальних кромки обкатної фрези та кут нахилу осі обкатної фрези до осі пили для обробки западин зубів без перехідних кривих.

Координати X та Y точок ріжучих кромки характеризують величину зміни радіусів вершин кожного зуба обкатної фрези, зміщення вершин зубів відносно найбільшого зуба фрези. Координати Z визначають положення різальних кромки при побудові 3D моделі обкатної фрези.

Наступним кроком проектування дискової обкатної фрези є визначення її конструктивних параметрів, розрахункових та обраних за джерелами. До розрахункових відносяться: різниця між радіусами зубів - $\Delta R_{\phi i}$, зміщення вершин зубів відносно найбільшого зуба - $B_{\phi i}$ та кутові кроки зубів фрези $\varepsilon_{\phi i}$. За нормативними документами або рекомендаціями інших джерел вибираються діаметр посадкового отвору – d , ширина фрези – B_{ϕ} , довжина зуба по задній поверхні – L_Z , діаметр ступиці D_{cm} , ширина ступиці – B_{cm} , передній та задній кут в вершинній точці γ_6 та α_6 , висота та ширина шпонкового пазу C_1 та A_1 .

В блоку аналізу геометрії різальної частини обкатних фрез визначаються та аналізуються геометричні параметри різальної частини обкатної фрези в процесі її роботи в кінематичній системі координат, завдяки чому, для конкретних умов роботи, параметрів оброблювальної відрізної пили та матеріалу, уточнюються передні та задні кути.

Література:

1. Гречишников В.А., Кирсанов Г.Н. и др. Автоматизированное проектирование металлорежущего инструмента. Москва, Мосстанк., 1984, 109с.
2. Гречишников В.А. Системы автоматизированного проектирования режущих инструментов. Москва, ВНИИТЭМР, сер.9.2, 52с.
3. ГОСТ 2679-93 (ИСО 2296-72). Фрезы прорезные и отрезные. Технические условия. Чиний від 1997.07.01. М.: Межгосударственный стандарт, 2010.
4. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). Спб, Питер, 2004. 560с.

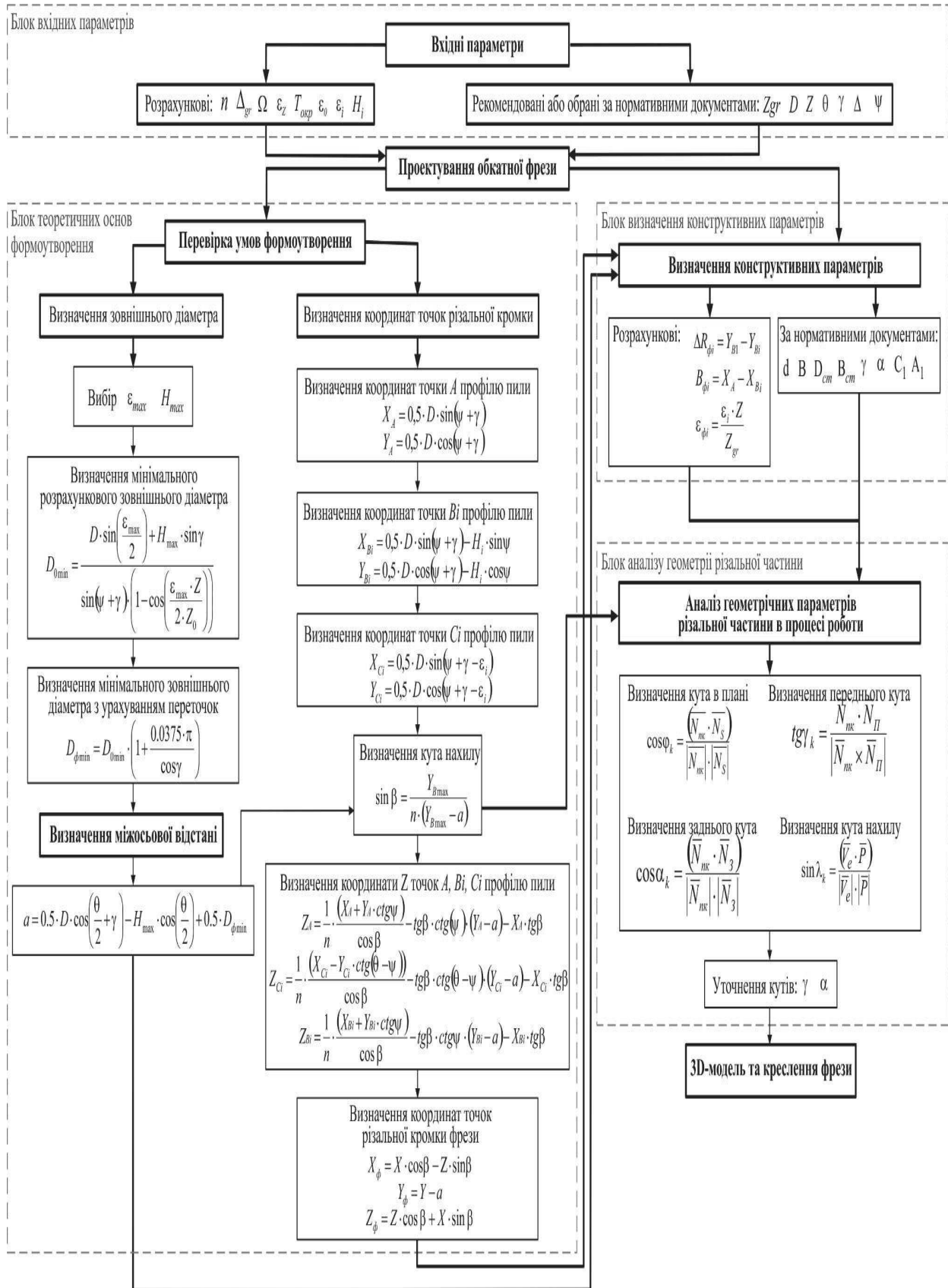


Рис. 1. Структурна схема САПР дискової обкатної фрези з нерівномірним кроком $Z_0=4$

5. JULIA UTENSILI SPA. URL: https://www.juliautensili.com/wp-content/uploads/2018/10/HSS_CATALOGUE_Edition-2018_2.pdf. (Last accessed: 09.09.2018).

6. Kinkelder BV. URL: <https://kinkelder.com/saw-blades/hss-standard/>. (Last accessed: 22.03.2018).

7. Stark. HSS Circular Saws: каталог. GMV-Grafiche Marini Villorba, 2017. 27s.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ ДЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ

¹Роп'як Л. Я., *к.т.н., с.н.с., доцент*, ²Малишевська О. С., *к.т.н., доцент*

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

²Івано-Франківський національний медичний університет

В останні роки інтенсивно йде розробка та освоєння нових технологій поверхневого зміцнення алюмінієвих сплавів мікродуговим оксидуванням [1], але в літературі практично відсутні відомості про токсичність електролітів та продуктів електролізу, а це стримує раціональний вибір складу електролітів. У процесі формування оксидних покриттів на алюмінії та його сплавах поряд виділяються водень та кисень. Вони не мають токсичної дії на живі організми, а небезпеку становить лише утворення з них гримучої суміші. Тому гальванічні ванни для нанесення таких покриттів повинні обладнуватися системою витяжної вентиляції в іскробезпечному виконанні.

На основі аналізу складів відомих електролітів зроблено висновок [1, 2], що більшість електролітів, які на даному етапі розвитку технологій оксидування описані в літературі та використовуються у промисловості, містять складники 1 та 2 класів небезпеки, як у початковому складі, так і у продуктах електролізу (що набагато небезпечніше). Тому нами запропоновано силікатно-лужний електроліт [2], котрий не містить у своєму складі речовин 1 та 2 класів небезпеки, що значно спрощує та здешевлює їх очистку та утилізацію. Для утилізації відпрацьованих електролітів запропоновано систему очищення на базі розробленої конструкції гідроциклона [3]. Гідроциклон містить корпус, який включає верхню циліндричну і нижню конічну частини. У корпусі співвісно з трубою для відведення електроліту встановлена коаксіально зовнішня труба, в якій виконані тангенційні похилі отвори для подачі нейтралізатора, що забезпечує підвищення ефективності очищення та нейтралізації електроліту. Запропонований склад електроліту для оксидування є дешевшим порівняно з іншими типами електролітів, а серед продуктів електролізу немає речовин 1 та 2 класів небезпеки. Окрім цього, розроблена конструкція гідроциклона забезпечує прямий контакт електроліту і розчину для його нейтралізації.

Література:

1. Суминов И. В. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин и др.; под ред. Т. А. Карасевой. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

2. А. с. № 1767044, СССР, МКИ С 01 D 11/06. Электролит для микродугового анодирования алюминия и его сплавов / Л. С. Саакян, А. П. Ефремов, А. В. Эпельфельд, Л. Я. Ропяк, Н. М. Католикова, А. И. Капустник, И. М. Колесников (СССР). – № 4841930/02; заявл. 21.06.90; опубл. 07.10.92, Бюл № 37. – 2 с.

3. А. с. № 1549598, СССР, МКИ В 04 С 5/20. Гидроциклон / В. Т. Яворский, Л. И. Челядин, С. В. Волковецкий, И. М. Стоцкий, И. Ю. Гладий, Л. Я. Ропяк (СССР). – № 4381126/31-26; заявл. 13.11.87; опубл. 15.03.90, Бюл № 10. – 4 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РОБОТИ ПІДВІСНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ

**Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., старший викладач,
Предко Р.Я., к.т.н., асистент**
Національний університет “Львівська політехніка”

Підвісні канатні дороги широко використовуються як транспортні засоби в різних регіонах України із складним рельєфом. В залежності від призначення та умов експлуатації використовуються різні типи систем. Значне місце відводиться канатним дорогам із замкнутим рухомим тягово-несним канатом. Такі дороги широко використовуються в якості підйомників на лижних трасах. Їх експлуатація підвищує комфортність відпочиваючих і приносить значні прибутки. Однак першочерговим завданням є забезпечення безпеки роботи підвісних канатних доріг та вибір їх оптимальних параметрів, які дозволять досягти довговічності і надійності основних елементів.

Розрахунок і проектування підвісних канатних доріг – складні і багатоваріантні задачі. Їх особливості пов'язані з широким використанням стандартних вузлів, уніфікованих конструкцій, широкою нормативною базою розрахунку і вибору основних елементів. Дослідженням та проектуванням підвісних канатних доріг завжди приділялась значна увага. 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. 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 [1].

Для визначення внутрішніх зусиль, що виникають в рухомому тягово-несучому канаті і елементах проміжної опори запропонована розрахункова схема, на основі якої розроблена математична модель у вигляді системи диференціальних рівнянь руху.

Отримані залежності для визначення величини тиску канату на проміжну опору, а відповідно і проміжні напруження. Це дає можливість, виходячи з

умови міцності, визначити основні параметри опори, які забезпечать оптимальні умови роботи канатної системи.

Вибір оптимальних параметрів канатних установок та використання удосконалених тягово-вантажопідіймальних пристроїв дозволить підвищити надійність їх роботи, а також забезпечить зниження витрат на експлуатацію та виконання монтажних-демонтажних робіт.

Література:

1. Мартинців М. П. Динаміка та міцність підвісних канатних систем: монографія / М. П. Мартинців, Б. В. Сологуб, М. В. Матішин – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 188 с.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ DEFORM-2D ЩОДО ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Ступницький В.В., д.т.н., професор

Національний університет «Львівська політехніка»

Металорізальні інструменти підлягають надзвичайно важкому процесу силового та температурного навантаження і тому доволі швидко зношуються. Основною причиною зношування є, безперечно, тертя, яке виникає між лезом і збігаючою по передній поверхні стружкою. Дуже важливо, що це тертя здійснюється при високих температурах в зоні формоутворення та за наявності значного тиску. З точки зору фізичного та аналітичного опису процесу тертя цей процес є вкрай складним і мало прогнозованим.

Серед різних типів інструментів також превалює різний характер зношування. Так, для прорізних та відрізних токарних інструментів саме зношування по задній поверхні буде лімітуючим, оскільки найбільше напруження виникатиме у місці переходу від головного різального леза до допоміжного. Для прохідних різців критичним вважається зношування, яке перевищує допустимий розмір на 0,3 мм. Такий тип руйнування прийнято також називати викришуванням. Для обробки легованих сталей та сплавів це значення може зростати до 1 мм. Наслідком викришування може стати і сколювання цілої твёрдосплавної пластини з виникненням аварійної та небезпечної для оточуючих робітників ситуацією.

У випадку виникнення в зоні стружкоутворення високих температур (більше, ніж 900 °С) в твёрдосплавних пластинках виникає ефект пластичного розм'якшення матеріалу інструмента. Тоді відбувається його часткова пластична деформація і утворення виступу, що суттєво змінює мікрогеометрію леза. При вершині різця виникають негативні передні та задні кути різання. Це ще більше спричинює зростання сил різання та температури на вершині

інструмента. Ситуація ускладнюється і може стати критичною, якщо інструмент вчасно не замінити або переточити. Частково таку ситуацію може виправити покращення умов охолодження зони різання, що зменшить температурне навантаження і покращить процес тертя.

Найбільш ефективним методом дослідження зношування інструменту є методика імітаційного моделювання, для якої запропоновано використати систему DEFORM 2D. Ця програма є прикладом імітаційної системи моделювання, призначеної для площинного аналізу зони різання при різних режимах і для різної форми інструментів. DEFORM 2D генерує інформацію про напружений і температурний стан матеріалу під час процесів формоутворення.

В адміністративній панелі системи DEFORM 2D пропонується 2 основних критерія зношування – критерій Ушуї (Usui criterion) та критерій Арчарда (Archard criterion):

Критерій Ушуї (Usui criterion) описується рівнянням

$$w = \int a \cdot p \cdot V \cdot e^{-b/T} dt \quad (1)$$

де w - інтенсивність зношування інструменту, що являє собою величину зношування в мкм, віднесена до 1 м пройденого інструментом шляху (мкм/м);

p - питомий тиск в зоні різання;

V - швидкість різання;

Критерій Арчарда (Archard criterion) визначається за формулою:

$$w = \int K \cdot \frac{p^a \cdot v^b}{H^c} dt \quad (2)$$

H - твердість інструментального матеріалу;

a, b, c, K - емпіричні коефіцієнти.

Аналіз результатів імітаційного моделювання процесу зношування підтвердили їх адекватність реальним процесам, оскільки використання альтернативних моделей зношування Usui або Archard model, суттєво не позначається на результатах досліджень. Величини зношування для цих випадків при ідентичних режимах різання та інструментальних матеріалах становлять 5,2 мкм/с і 5,69 мкм/с, відповідно. Тобто похибка не перевищує величини 8,6%, що цілком прийнятно для імітаційних досліджень методом скінченних елементів.

Із збільшенням радіуса заокруглення різального леза величина зношування також зростає. Так, при радіусі $r=0,1$ мм зношування становить $w=5,2$ мкм/с, при $r=0,25$ мм – $w=8,17$ мкм/с; при $r=0,5$ мм – $w=13,2$ мкм/с а при $r=1,0$ мм – $w=16,4$ мкм/с. Це можна пояснити зростанням сили різання, а отже і нормального тиску на передню поверхню різця. Ще є важливим той факт, що найбільше зношування є на передній поверхні при $r=0,1$ мм, а при зростанні радіуса найвища інтенсивність зношування спостерігається саме на вершині інструмента.

Передній кут інструмента має суттєвий вплив на формування зони зношування. Причому оптимальне (найменше) значення зношування спостерігається при куті $\gamma=5^\circ$ – $w=5,2$ мкм/с, а при менших значеннях ця

величина зростає : при куті $\gamma=0^\circ$ – $w=9,4$ мкм/с; при куті $\gamma=-5^\circ$ – $w=14,2$ мкм/с. Аналогічне зростання спостерігається при куті $\gamma=10^\circ$ – $w=8,3$ мкм/с. Це пояснюється динамікою силових процесів різання.

Зміна режимів різання обумовлює зміну швидкості зношування інструменту. Так, при зростанні подачі від $S=0,1$ мм/об до $S=0,8$ мм/об, питоме зношування також зростає з $w=4,6$ мкм/с до $w=9,4$ мкм/с. Аналогічно, при збільшенні швидкості різання від $V=80$ м/хв до $V=400$ мм/об, питоме зношування також зростає з $w=4,6$ мкм/с до $w=29$ мкм/с. Причиною цього є збільшена швидкість ковзання стружки по лезу інструмента, що викликає підвищене фрикційне навантаження на різець.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИСКОВИХ ШАРОШОК ДЛЯ ПРОХІДНИХ КОМБАЙНІВ

Карпик Р.Т., к.т.н., доцент, Сьомкайло В.М., магістр

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Технологічні процеси виготовлення породоруйнівного інструменту (ПРІ) мають суттєвий вплив на підвищення його якості та показники ефективності їх експлуатаційних характеристик. У зв'язку з цим зростає роль та значення розробки нових технологічних процесів, які б забезпечували якісні показники ПРІ. Виготовлення ПРІ, який працює в умовах складного та граничного навантаження, можна розглядати як послідовність перетворення якісних показників, починаючи від отримання заготовки до викінчувальних операцій, враховуючи залежності показників якості, отриманих на попередніх переходах. Тому основним завданням забезпечення ефективності ПРІ є керування процесом його якісного перетворення для формування оптимальних експлуатаційних показників.

Аналіз проведених досліджень показує, що ефективними методами які дозволяють істотно підвищити якість ПРІ, є процеси армування його робочої частини релітом [1]. Розрізняють технологічні процеси поверхневого, об'ємного, відцентрового та відцентрово-композиційного армування.

Технологічний процес поверхневого армування полягає у нагріванні робочої поверхні деталі до розплавлення та занурення зерен реліту, або твердого сплаву у розплавлений метал.

При об'ємному армуванні розплавлений матеріал заливають у форму та вводять необхідну кількість реліту або твердого сплаву. На початкових стадіях об'ємне армування проводилось за рахунок розміщення по об'єму деталі пластин, брикетів, грудок твердого сплаву різної форми, закріплених на каркасах та заміщених рідким металом. Такі деталі мали більшу стійкість у порівнянні із поверхнево армованими деталями, але враховуючи їх високу трудомісткість та складність реалізації дана технологія не знайшла промислової реалізації.

Із вище перелічених методів армування найбільш перспективним є відцентрово-композиційне армування, яке дозволяє отримати оптимальне об'ємне поєднання твердої складової армітора (у нашому випадку зерен реліту) та металозв'язки. При цьому зберігаючи всі вимоги до якості ПРІ.

Відцентрово-композиційне армування має такі переваги, як можливість автоматизації процесу за рахунок суміщення технологічних операцій, покращення якості армованої зони завдяки стабільності технологічних параметрів, економії реліту.

Суть процесу відцентрово-композиційного армування полягає у попередньому нагріванні ливарної форми та її обертання із одночасним введенням рідкого металу та зернистого реліту певної фракції. Рух зерен реліту до периферії форми здійснюється під дією відцентрових сил, так як густина зерна реліту вища за густину рідкого металу (сталі), зерна реліту розміщуються по твірних клиноподібного обода дискового ПРІ, утворюється кільцевий композиційний матеріал армованої зони під заданими кутами, виходячи із кінематики руху дискового ПРІ та характеру її взаємодії із пороною і зберігаючи геометрію диска до його повного спрацювання. З метою забезпечення рівномірного розподілу арміторів у композиційно-армованій зоні та протидіяти коріюлісовим силам в процесі руху зерен реліту по круговій траєкторії накладають магнітне поле на розплав металу [2].

Основними технологічними параметрами відцентрового композиційного армування дискового ПРІ є частота обертання форми при заливці, температура сталі, величина магнітної індукції, кількість та концентрація реліту. Знаючи процеси, які проходять у композиційно армованій зоні, які залежать від технологічних параметрів армування виливки, можна отримати заготовку дискового ПРІ із раціональним розміщенням зерен реліту в об'ємі клиноподібного диска

Технологічний процес виготовлення дискового ПРІ наведено на рисунку 1.

Література:

1. Бугай Ю.Н. Центробежно-армированный инструмент / Ю.Н. Бугай, И.В. Воробйов. – Львов: Вища школа., Из-во при Львов. университете, 1989. –208 с.
2. Пітулей Л.Д. Дослідження отримання оптимальної структури віброармованої зони зубків шарошок бурових доліт Л. Д. Пітулей, Р. Т. Карпик / Вісник Хмельницького національного університету.- 2015.- №1(221) с. 33-35.

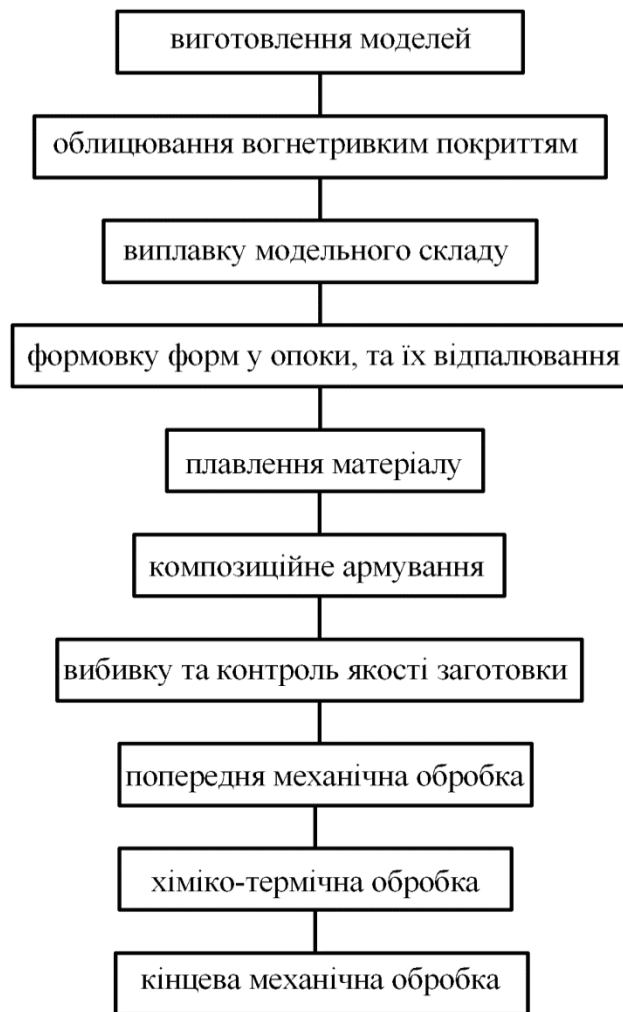


Рис.1. Блок-схема операцій технологічного процесу виготовлення дискового ПРІ

НАПРУЖЕННЯ В ШЛІФУВАЛЬНОМУ КРУЗІ

Танцура Г.І., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет

Шліфування посідає особливе місце в металообробці. Воно відбувається в процесі періодичної взаємодії абразивних зерен, що розташовані на поверхні інструменту, з деталлю. В процесі такої взаємодії в матеріалі, що утримує зерна, періодично виникають напруження. Напруження впливають на кількість циклів навантажень матеріалу до моменту його руйнування. Руйнування поверхневого шару забезпечує появу на ньому нових різальних кромок замість зношених. Оптимізація навантажень шліфувального інструменту та зносу різальних кромок абразивних зерен – актуальна науково-технічна задача.

Шліфувальний інструмент має композитну побудову. Його механічні характеристики усереднено за Фогтом і розглянемо шліфувальний круг як пружний, ізотропний циліндр нерухомо приєднаний до оправки по внутрішньому циліндру. На зовнішню циліндричну поверхню круга діють розподілені по ширині на дузі малої довжини нормальна та дотична сили. За

таких умов деформований стан круга – плоский. Зовнішній та внутрішній радіуси круга позначимо літерами r_0 та R . Віднесемо круг до полярної системи координат. Сформулюємо граничні умови:

а) по поверхні $r = r_0$

$$u_r = u_\beta = 0, \quad (1)$$

б) по поверхні $r = R$

$$R_r = \begin{cases} 1 & \text{коли} & -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли} & -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases} \text{ для випадку нормального навантаження,} \quad (2)$$

$$R_\beta = \begin{cases} 1 & \text{коли} & -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли} & -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases} \text{ для випадку дотичного навантаження,} \quad (3)$$

де δ – кут дуги контакту шліфувального круга з матеріалом.

Напруження визначимо з використанням функції Ері [1].

$$\begin{aligned} \phi(r, \beta) = & B_0\beta + A\ln(r) + Br^2\ln(r) + Cr^2 + (B_1r^3 + C_1r^{-1} + D_1r\ln(r))\cos(\beta) - \\ & - \frac{2D_1}{1-\mu}r\beta\sin(\beta) + (A_m r^m + B_m r^{m+2} + C_m r^{-m} + D_m r^{-m+2})\cos(m\beta). \end{aligned} \quad (4)$$

де $B_0, A, B, B_1, C_1, D_1, A_m, B_m, C_m, D_m$ – невідомі сталі; μ – коефіцієнт Пуассона; $m = 2, 3, \dots$ – ціле число.

Напруження для прийнятої функції.

$$\begin{aligned} Br(r, \beta) = & B_0r^{-2} + (2B_1r + 2C_1r^{-3} + D_1r^{-1})\sin(\beta) - \\ & - (A_m r^{m-2}(1-m) - B_m r^m(1+m) + C_m r^{-m-2}(1+m) - D_m r^{-m}(1+m))m\sin(m\beta), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Rr(r, \beta) = & Ar^{-2} + B(2\ln(r) + 1) + 2Cr + (2B_1r + 2C_1r^{-3} + D_1r^{-1})\cos(\beta) + \\ & + \left(A_m r^m(1-m) + B_m r^m(m+2-m^2) - \right. \\ & \left. - C_m r^{-m-2}(m(1+m)) + D_m r^{-m}(-m+2-m^2) \right) \cos(m\beta), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} B\beta(r, \beta) = & Ar^{-2} + B(2\ln(r) + 3) + 2Cr + (6B_1r + 2C_1r^{-3} + D_1r^{-1})\cos(\beta) + \\ & + \left(A_m r^{m-2}(m(m-1)) + B_m r^m(m+2)(m+1) + \right. \\ & \left. + C_m r^{-m-2}m(m+1) + D_m r^{-m}(m-2)(m-1) \right) \cos(m\beta). \end{aligned} \quad (7)$$

Граничні умови (2) – (3) задані рядами Фур'є, визначені переміщення та умова їх обмеження по внутрішньому радіусу шліфувального круга, дозволяють визначити невідомі сталі функції Ері (4) та напруження в матеріалі. Відповідно виразів (5) – (7) напружено-деформований стан, зумовлений дією нормального навантаження, симетричний, а дотичним навантаженням – антисиметричний. Для аналізу напружень в обох випадках достатньо визначити напруження для симетричної або антисиметричної частини.

Аналіз розподілу напружень показує, що в об'ємах матеріалу, розташованих ближче по внутрішнього отвору в крузі, різниця напружень зменшується, але вони залишаються нерівномірно розподіленими. При цьому максимальні нормальні колові напруження близькі за значеннями до відповідних нормальних радіальних напружень, дотичні значно менші. Інший характер розподілу напружень викликає дотичне навантаження. Воно призводить до появи антисиметричних колових нормальних напружень. Відповідно і до напружень відриву кристалів абразиву від матеріалу, в якому кристали розташовані. Максимальні значення таких напружень значно перевищують значення максимальних дотичних напружень, обумовлених дією прикладених розподілених сил. Такі напруження, на нашу думку, більше за інші впливають на вирив кристалів з абразивного матеріалу. Кількість циклів взаємодії зерен з матеріалом до їхнього граничного зносу значно менша за 10^6 циклів. Відповідно матеріал шліфувального інструменту працює в умовах малих кількостей циклів навантажень. Малоциклова витривалість матеріалу, що утримує шліфувальні зерна в шліфувальному крузі при дії симетрично змінних колових нормальних напружень, має збігатися з кількістю циклів до досягнення граничного зносу різальних кромок абразивних зерен.

Література:

1. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости. Учебное пособие для вузов. Узд 2. М.: Высшая школа. 1977.216 с.

ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНОЇ ЗАМКОВОЇ НАРІЗИ

Онисько О.Р., к.т.н., доцент, Шкіца Л.Є., д.т.н., професор, Тарас І.П., к.т.н., доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Конічна замкова нарізь використовується для з'єднання бурильних труб і елементів бурильних колон. Згідно зі стандартом (ГОСТ 28487-90) профіль такої нарізі має вигляд трикутника із заокругленою впадиною та зрізаним виступом (рис.1). На рисунку 1 позначено параметри нарізі за вищевказаним стандартом, жирними лініями відображено профіль конічної замкової нарізі, а тонкими лініями показано профіль вихідного трикутника з висотою H , шириною P , яка є кроком цієї нарізі.

Кут при вершині A профілю нарізі рівний 60° , бісектриса AG перпендикулярна до осі обертання. За рахунок конічності довжина однієї сторони AB профілю завжди більша, ніж інша AD .

Такі нарізі виготовляють на токарних верстатах із ЧПК, а технологія їх виготовлення опирається на те, що геометричною основою нарізі є архімедів гвинт. На рисунку 2а показано схему, яка ілюструє різальну крайку різця як

твірну закритого косою гелікоїда (гвинта Архімеда). Зі схеми видно, що різець встановлено таким чином, що різальна крайка розміщена у площині, яка перетинає вісь нарізи.

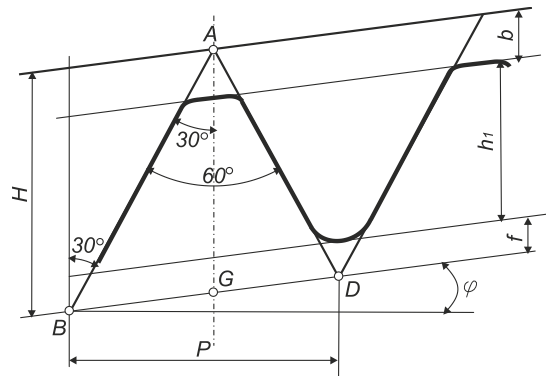


Рис.1. Профіль конічної замкової нарізи

На рисунку 2б показано схему гвинтової поверхні, яку виконано різцем, передня поверхня якого є площиною, яка не перетинає вісь заготовки, і відповідно, результуючою буде конволютна гвинтова поверхня. Таку ж поверхню буде отримано у разі тангенціального зміщення вершини різця щодо осьової площини заготовки [1], тобто за реальних умов виготовлення конічної замкової нарізи, коли ідеальне встановлення різця і різальної пластинки на ньому є неможливим.

Оскільки виготовити номінальний закритий косий гелікоїд є нереально, то технологічно правильним було б за теоретичну основу поверхні замкової нарізи брати конволютну гвинтову поверхню, а точніше говорити про дві такі поверхні, а саме, одну, що формується твірною АВ, яка представляє довшу сторону профілю нарізи, та іншу – сформовану твірною AD, яка утворює меншу сторону профілю (рис.1) [2].

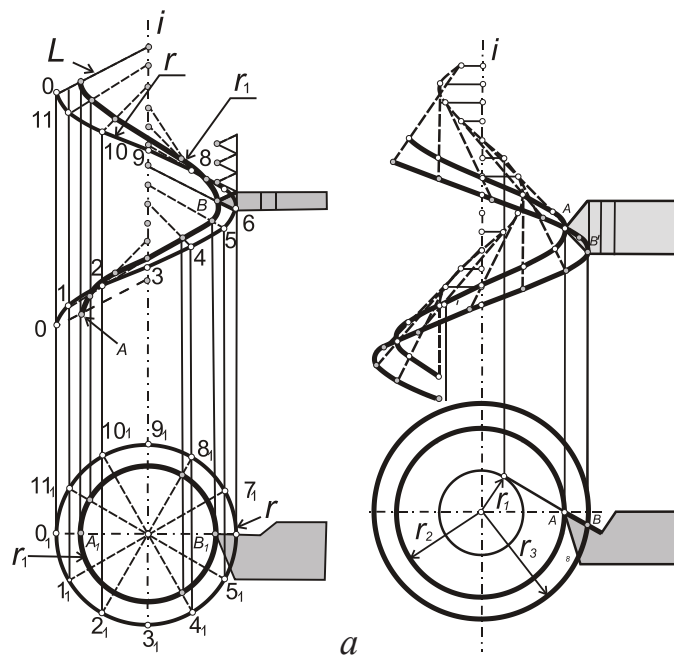


Рис.2. Схема виготовлення токарним різцем гвинтових поверхонь
а) Архімеда, б) конволютної

Слід підкреслити, що для конічної нарізі схема гелікоїда ілюструє певний миттєвий стан його відтворення, оскільки величина радіуса r_1 змінна (рис. 2а). Також, змінними, очевидно, є величини r_2 , r_3 (рис. 2б). Таким чином, гвинтова лінія виступів на вигляді зверху мала б відобразитися не колом, а спіраллю Архімеда. Технологічне забезпечення такої вихідної поверхні відбувається за рахунок постійної поперечної подачі.

Отже, для технологічного забезпечення точності відтворення замкової нарізі слід розглядати її теоретично як пару конволютних гвинтових поверхонь, а не поверхонь косоного гелікоїда.

Література:

1. Онисько О.Р. Аналітичний розрахунок точності профілю поверхні гвинтової нарізі залежно від величини тангенціального відхилення установлення вершини різьбового різця. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2016. №1(58). С. 28–34.

2. Тарас І.П. Дослідження геометричних особливостей конічних нарізей. *Inzynierna i technologia. Wspolczesne problem i perspektywy rozwoju: zbior artykulow naukowych. Konferencij Miedzynarodowej Naukowo-Praktycznej*. – м. Warszawa, 29-30.04.2016 г. Warszawa, 2016. S.6-9.

ВЗАЄМОДІЯ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА З ПРУЖНО-В'ЯЗКИМ ВИБОЄМ

**Цідило І. В., к. фіз-мат. н., доцент, Михайлюк І. Р., к. пед.н., доцент,
Кирничний Т. Я., студент**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Актуальність задачі досліджень

Сучасні дослідження ще не в повній мірі дозволяють оцінити вплив властивостей породи при бурінні свердловин на динаміку роботи шарошечного долота. Це пов'язано з відсутністю залежностей, які описують взаємозв'язок між параметрами озброєння шарошечного долота і пружно-в'язкими властивостями породи. У вітчизняних і зарубіжних дослідженнях [1–3] отримані нові експериментальні дані про зміну динаміки доліт при бурінні свердловин у різних за механічними властивостями породах при статичному та динамічному вдавлюванні, які можуть тільки наближено використовуватися при вивченні динаміки взаємодії озброєння шарошечного долота з вибоєм.

Завданням даного дослідження є встановлення аналітичних залежностей для оцінки динамічної взаємодії породоруйнівних елементів шарошечного долота з пружно-в'язким вибоєм.

Розрахункова схема для опису динаміки руху шарошечного долота при бурінні приведена на рисунку 1.

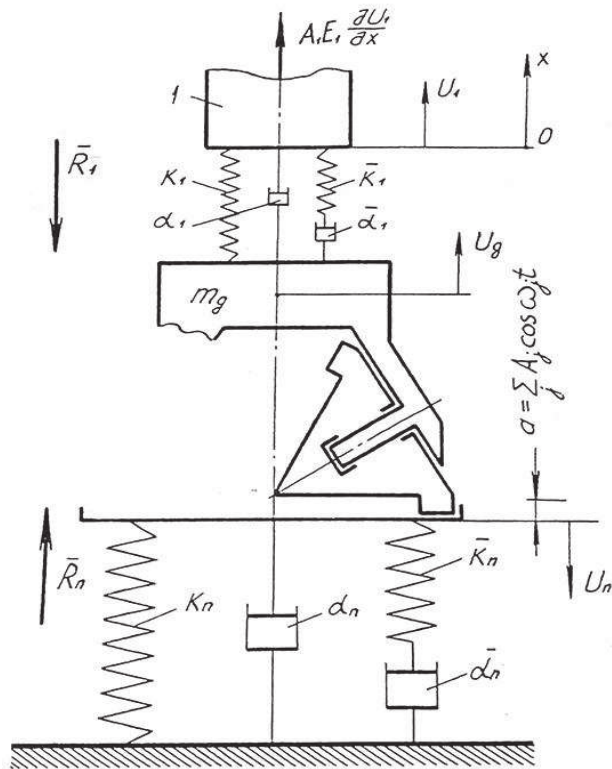


Рис. 1. Схема шарошечного

в'язким вибоєм

взаємодії долота з пружно-

Поділ порід на крихкі, пластично-крихкі і пластичні має умовний характер, тому при дослідженнях деформації породи на вибої свердловини можна скористатися механічними моделями, які представляють породу пружно-в'язким тілом із паралельно з'єднаних тіл Фойгта і Максвелла, відповідно з коефіцієнтами жорсткості K_n , \bar{K}_n і в'язкою опору a_n і \bar{a}_n .

На шарошечне долото масою m_g передається зусилля від бурильної колони через віброзахисний інструмент з характеристиками K_1 , \bar{K}_1 , a_1 і \bar{a}_1 . Характеристика низу бурильної колони: площа поперечного січення нижньої секції A_1 , осьовий момент інерції I_1 , модуль зсуву G_1 і модуль пружності E_1 . Вісь x направлена вгору, а початок відліку суміщений з початком секції 1. Відносне переміщення U_g центра долота по поверхні вибою можна описати залежністю:

$$a = \sum_j A_j \cos w_j t, \quad (1)$$

де A_j – амплітуда зубкових коливань з частотою w_j на j гармоніці.

Диференціальне рівняння, яке описує динаміку взаємодії озброєння шарошечного долота з пружно-в'язкою поверхнею вибою має вид:

$$m_g \ddot{u}_g = R_n + R_1, \quad (2)$$

де R_n і R_l – реакції породи і наддолотного віброзахисного інструмента, \ddot{u}_g – зміщення центра долота.

Динамічні складові осьового навантаження на шарошечне долото і вибій свердловини мають вид:

$$P_g = R_1 = \sum_j R_{1j} e^{i\omega t}; \quad R_n = \sum_j R_{nj} e^{i\omega t}. \quad (3)$$

Висновок:

Використання рівнянь (1) – (3) і створеної аналітичної моделі дозволяє встановити взаємозв'язок між пружно-в'язкими властивостями породи, конструктивними і кінематичними параметрами шарошечного долота на різних гармоніках і можуть бути використані для оцінки динамічної взаємодії озброєння шарошечних доліт з різними за механічними властивостями породами при різних режимах роботи.

Література:

1. Пуртилова И. А. Исследование силовых и кинематических характеристик работы шарошечных долот // Современные проблемы науки и образования. –2015. – № 1.
2. Мислюк М. А., Рибчич І. Й., Яремійчук Р. С. Буріння свердловин. У 5 т. Т.2: Промивання свердловин. Відробка доліт. Довідник. - К. : Інтерпрес ЛТД, 2002. - 303 с.
3. Балицкий П. В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. М.: Недра, 1975. – 296 с.

ВПЛИВ РОЗМІЩЕННЯ АМОРТИЗАТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З МАХОВИЧНИМ ДВИГУНОМ

**Цідило І. В. к. ф.-м. н., Михайлюк І. Р. к. пед. н., Харун П. В. студент,
Круглий Р. Б. студент**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Актуальність задачі досліджень

Досліджується механічна система з екологічно чистим джерелом енергії. До такого виду двигунів механічних систем відноситься маховичний двигун. Висока питома потужність, швидка зарядка, надійність і довговічність характеризує маховичний двигун. Маховичні накопичувачі енергії знаходять своє застосування в різних областях машинобудування, на транспорті, а також в механізмах на вибухонебезпечних об'єктах.

Питання вібростійкості є одним із основних при дослідженні динамічних властивостей механічних систем з маховичним двигуном [1].

Механічна система займає проміжне місце між гіроскопом і маховиком, який обертається в закріплених опорах.

В даному дослідженні проведений аналіз стійкості руху системи при «роботі» не всіх амортизаторів. Отримана інформація може бути використана при проектуванні і плануванні режимів випробувань механічних систем з маховичним двигуном.

Рівняння руху маховичного двигуна

Передбачається випадок коли працюють два парні діаметрально протилежні амортизатори (рис. 1)

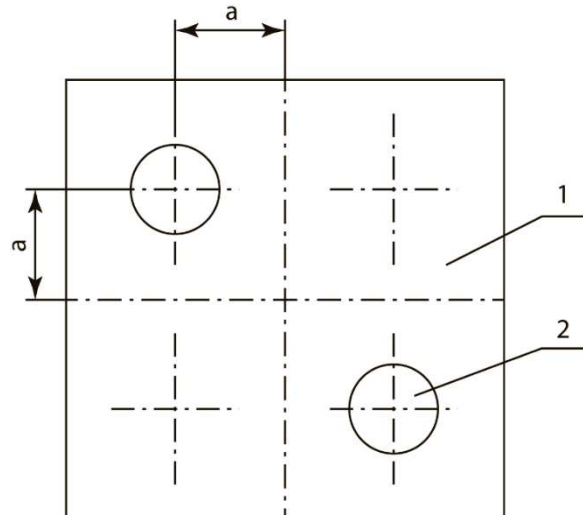


Рис. 1. Схема розміщення працюючих двох парних діаметрально протилежних амортизаторів 2 на віброуючій основі 1.

З точністю до величин першого порядку, для одномірної амортизації складені рівняння руху у вигляді рівняння Лагранжа другого роду, які мають вид:

$$\ddot{\alpha} + \left(\frac{p}{2} + b\right)\dot{\alpha} + \left(q - \frac{p}{2}\right)\dot{\beta} + \left(\frac{\sigma}{2} - c\right)\alpha - \sigma\frac{\beta}{2} = 0;$$

$$\ddot{\beta} + \left(\frac{p}{2} + b\right)\dot{\beta} - \left(q + \frac{p}{2}\right)\dot{\alpha} + \left(\frac{\sigma}{2} - c\right)\beta - \sigma\frac{\alpha}{2} = 0; (1)$$

$$\ddot{\gamma} + b_{\gamma}\frac{\dot{\gamma}}{I_k} = 0,$$

де $b = \frac{b_{\alpha}}{I + I_k}; q = \frac{I_{z_2}\Omega}{I + I_k}; \sigma = \frac{4a^2c_z}{I + I_k}; p = \frac{4a^2b_z}{I + I_k}; c = \frac{P_m\nu}{I + I_k}; I_{x_1}, I_{y_1}$

$I = I_{x_2} = I_{y_2}; I_k = I_{x_1} = I_{y_1}$; – моменти інерції корпусу; I_{x_2}, I_{y_2} – моменти інерції маховика; Ω – кутова швидкість маховика; c_z – жорсткість амортизатора; b_{α} і b_{γ} – коефіцієнти демпфування на кутах повороту маховика α і γ ; ν – зміщення центру мас; b_z – коефіцієнт демпфування амортизатора по вертикалі; c_z – жорсткість амортизатора; a – координата точки кріплення амортизатора в стані спокою; P_m – вага маховика.

Аналіз рівнянь показує, що прецесія носить не тільки коливний характер, але й аперіодичний, коли діє мала відновлювальна сила. Розглядається незбурений рух ($\alpha = \dot{\alpha} = \beta = \dot{\beta} = 0$). При співпаданні центра мас з точкою підвісу аналіз рівнянь показує, що висновок про стійкість можна отримати при розгляді нелінійної частини руху.

Якщо знехтувати дисипацією в'язкого тертя в сферичній опорі, рахуючи її достатньо малою, тоді при співпаданні центра мас з точкою підвісу характеристичне рівняння буде мати такий вигляд для руху маховика:

$$\lambda^2 (\lambda^2 + p\lambda + \sigma + q^2) = 0; \quad (2)$$

Для руху корпусу:

$$\lambda^2 = 0, \quad (3)$$

Елементарні дільники, які відповідають двом нульовим кореням характеристичних рівнянь (2) і (3) не прості [2].

Висновки:

1. Аналіз показує, що рух по лінійному наближенню нестійкий, зникає низька частота коливань – прецесія.

2. Розміщення центра мас маховика нижче точки підвісу є однією із рекомендацій, яка покращує стійкість системи при роботі двох діаметрально протилежних амортизаторів.

Література:

1. Павловский М. А. Збруцкий А. В. Динамика роторных вибрационных гироскопов. Киев: Вища школа. 1984. 191 с.

2. Гельфанд Н. М. Лекции по линейной алгебре. Москва: Наука, 1971. 271 с.

ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ CALS-ТЕХНОЛОГІЯМИ

Шабайкович В.А., д.т.н., професор

Луцький національний технічний університет

Концепція CALS-технологій передбачає управління та скорочення витрат на інформаційну взаємодію в процесах виготовлення продукції. Це технологія безперервної безпаперової інформаційної підтримки життєвого циклу продукції. Предметом CALS-технологій є технологія взаємодії між підприємствами, які замовляють, виробляють і експлуатують ту чи іншу продукцію. Довівши свою ефективність, CALS-технології застосовуються в промисловості, розширюючись і охоплюючи всі етапи життєвого циклу продукції, від маркетингу до утилізації [1].

Суть концепції CALS-технологій полягає в застосуванні принципів і технологій інформаційної підтримки на всіх стадіях життєвого циклу продукції, що забезпечує однакові способи управління процесами і взаємодії всіх

учасників цього циклу. Ці принципи і технології реалізуються відповідно до вимог міжнародних стандартів, які регламентують правила управління та взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними. За своєю суттю CALS є глобальною стратегією підвищення ефективності виробництва за рахунок інформаційної інтеграції. Найближчим часом весь світовий ринок наукомістких технологій та промислової кооперації повністю перейде на стандарти CALS.

Метою CALS-технологій є прискорення поставки на ринок нових зразків продукції, скорочення витрат на їх розробку, проектування та виробництво й поліпшення якості на всіх стадіях життєвого циклу. Впровадження CALS-технологій дозволяє отримати значний технічний та економічний ефект, що дає можливість підвищення конкурентоспроможності створюваної продукції.

До числа основних компонентів CALS-технологій відносяться наступні системи і засоби: CAD / CAM / CAE-системи, засоби реалізації технології паралельного проектування в режимі групового використання даних PC, засоби управління проектними і інженерними даними EDM і PDM, системи візуалізації та розробки документації, кошти обміну даними і стандартні інтерфейси до спеціалізованих систем, кошти розробки прикладного програмного забезпечення, методики аналізу процесів підприємства в проектній, виробничій та управлінській сферах [2].

CALS-технології покликані служити засобом, інтегруючим промислові автоматизовані системи в єдину багатофункціональну систему. Метою інтеграції автоматизованих систем проектування та управління є підвищення ефективності розробки і використання складної техніки. Промислові автоматизовані системи можуть працювати автономно і зараз зазвичай так і відбувається. Однак ефективність автоматизації буде вищою, якщо дані, що генеруються в одній з систем, будуть доступні в інших системах, оскільки прийняті ними рішення стануть більш обґрунтованими. Щоб досягти належного рівня взаємодії промислових автоматизованих систем потрібне створення єдиного інформаційного простору в рамках як окремих підприємств, так і об'єднань. Єдиний інформаційний простір забезпечується завдяки уніфікації форми і змісту інформації по конкретних виробках на різних етапах їх життєвого циклу. Уніфікація форми досягається використанням стандартних форматів і мов інформації в міжпрограмних обмінах і при документуванні. Уніфікація змісту – це правильна однозначна інтерпретація даних по конкретному виробу на всіх етапах його життєвого циклу, яка забезпечується розробкою онтологій (мета описів) додатків, які закріплюються в прикладних протоколах CALS. Уніфікація переліків і найменувань сутностей, атрибутів і відносин в певних предметних областях є основою для єдиного електронного опису продукції в CALS-просторі. Ефективність CALS-технологій виражається в:

- підвищення якості та конкурентоспроможності продукції за рахунок більш повного врахування наявної інформації при проектуванні та прийнятті управлінських рішень, оскільки відповідні програми АСУП мають оперативний доступ до баз даних інших автоматизованих систем: САПР, АСТПП, АСУТП і можуть оптимізувати плани робіт, розподіл виконавців, виділення фінансів і т.п.

- скорочення матеріальних і тимчасових витрат на проектування та виготовлення продукції, оскільки застосування CALS-технологій дозволяє істотно скоротити обсяги проектних робіт.

- істотне зниження витрат на експлуатацію обладнання та продукції, завдяки реалізації функцій інтегрованої логістичної підтримки, полегшення вирішення проблем інтеграції продукції в різних системах і середовищах, адаптації до мінливих умов експлуатації і т.п. [3].

Таким чином, CALS-технології використовуються для оптимізації управління процесами виготовлення продукції. Їх впровадження ефективно організовує виготовлення продукції і інформаційну взаємодію при розробці технологічних процесів, усуває розосередженість в часі, просторі та використовує різне програмне забезпечення для єдиного інформаційного простору. Сутність технологій полягає в тому, що вся інформація вноситься в електронну базу даних і дає можливість простежити життєвий цикл кожної деталі.

Останніми досягненнями є розробка CALS-технологій, як безперервної інформаційної підтримки поставок і життєвого циклу продукції на всіх її стадіях при використанні єдиного інформаційного простору інтегрованого середовища, що забезпечує єдині способи взаємодії замовників і виробників продукції, експлуатаційного та ремонтного персоналу, реалізована у формі краще міжнародних стандартів, які регламентують правила взаємодії за допомогою електронного обміну даними.

Література:

1. Шабайкович В.А. Сучасне виробництво продукції. – Львів: Вид-во ЛІМ, 2014. – 330 с.

2. Деминг, Уильям Эдвардс. Новая экономика [Текст]: пер. с англ. Ред. Т. А. Гуреш. – М.: ЭКСМО, 2008. 198 с.

3. CALS-технологии. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Издательство: LAP Lambert Academic Publishing. 2014. С.277.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

**Шкодо М., професор, Кільчинські В., д-р філософії, Панчук А., магістр
Політехніка Гданська, Польща**

Розвиток машинобудування та приладобудування нерозривно зв'язаний з розробленням та впровадженням прогресивних технологічних процесів, заснованих на сучасних досягненнях науки і техніки. Одне з основних завдань при виготовленні деталей і вузлів машин – отримання якісного з'єднання, що в підсумку визначає надійність всієї конструкції.

Зварювання плавленням є основним методом виготовлення конструкцій, а перше місце за обсягом використання займає електродугове зварювання. Разом із тим цей спосіб має певні недоліки, які не дозволяють забезпечити необхідну якість зварювання багатьох металів та сплавів, наприклад високолегованих, високоактивних, жароміцних тощо. Це завдання на сьогоднішній день фахівці зварювального виробництва намагаються вирішити за рахунок технологій, що використовують висококонцентровані джерела енергії, до яких належить зварювання лазерним променем. Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених лазерному зварюванню, актуальними на сьогоднішній день є питання ефективного використання даного способу [1].

Лазер, як джерело нагрівання, характеризують такі технологічні властивості: висока концентрація енергії в пучку, висока точність фокусування променя, практично безінерційне керування потоком теплової енергії, що дозволяє збільшити швидкість і точність обробки матеріалів і повністю автоматизувати процес, можливість виконувати операції у важкодоступних місцях, при складних і прецизійних формах швів. Лазерний промінь, як технологічний інструмент, не має собі рівних за ступенем "гнучкості", швидкістю дії та зносостійкістю.

Лазерне зварювання – процес, під час якого нагрівання та плавлення з'єднаних заготовок здійснюють когерентним променем монохроматичного світла. При зварюванні з глибоким проплавленням лазерне зварювання має багато спільного з електронно-променевим зварюванням. Перш за все це "ножове" формування металу шва з малою шириною та великою глибиною, що обумовлено високою концентрацією енергії в зоні зварювання. Проте, на відміну від електронно-променевого, при лазерному зварюванні немає сильного іонізуючого випромінювання, воно не потребує вакуумної камери, на лазерний пучок не впливають магнітні поля, що дозволяє точніше наводити його на стик та забезпечувати стабільне формування шва з високою відтворюваністю.

За рахунок високої концентрації енергії та малої плями нагрівання об'єм зварювальної ванни при лазерному зварюванні в декілька разів менший, ніж при дуговій. Цей чинник позитивно впливає на ряд характеристик як зварного шва, так і виробу в цілому. В першу чергу, зниження в 2...5 разів ширини шва дозволяє розширити асортимент деталей, де обмежені розміри на розміщення шва, як з точки зору теплової дії, так і компактності. Крім цього, зменшення об'єму розплаву та отримання швів з великим відношенням глибини проплавлення до ширини шва дає можливість зменшити деформації деталей до 10 разів, а малий об'єм розплавленого металу та специфічна форма шва також покращують у ряді випадків умови кристалізації.

Жорсткий термічний цикл лазерного зварювання з високими швидкостями нагрівання і охолодження забезпечує значну технологічну міцність та пластичність зварних з'єднань, дає можливість суттєво зменшити зону термічного впливу, дозволяє знизити ефект фазових і структурних перетворень в навколошовній зоні.

Для лазерного зварювання характерними є добра керованість та гнучкість процесу, можливість повної автоматизації, високі швидкості процесу, що

можуть досягати 200–400 м/год, широкий спектр зварюваних матеріалів - від високолегованих високовуглецевих марок сталі до сплавів міді і титану, кераміки і скла. За цього ефективним є використання лазерного зварювання для з'єднання різнорідних матеріалів, схильних до утворення інтерметалідних сполук і композиційних матеріалів на металічній основі. Тонке регулювання режимів зварювання в широкому діапазоні дозволяє контролювати час контакту рідких фаз в процесі їхньої взаємодії.

Завдяки тому, що лазерний промінь керується за допомогою дзеркальних оптичних систем або оптичних світловодів, він легко переміщається у важкодоступні місця і завдяки цьому стає можливим зварювання крупногабаритних конструкцій, виконання зварювання через прозорі матеріали, а також в рідких середовищах.

Варто враховувати також соціальні переваги, зв'язані з лазерними технологіями взагалі: підвищення ефективності та культури виробництва; зменшення трудових затрат, особливо ручної праці; престижність нової професії, а також те, що екологічні наслідки впровадження лазерного зварювання не порушують умов охорони навколишнього середовища. Використання лазерного зварювання не призводить до збільшення професійних захворювань та збільшення виробничого травматизму.

В даний час для лазерного зварювання використовуються установки з різними типами лазерів з великим діапазоном потужності. Серед лазерних систем потужністю до 500 Вт варто виділити установки з імпульсними твердотільними лазерами. Використання імпульсних лазерів забезпечує мінімальну зону термічного впливу на матеріал і дозволяє зберегти геометрію зварюваних виробів практично без змін. Установки з твердотільними лазерами знайшли широке використання у виробництві приладів електронної техніки, точного приладобудування, ювелірних та медичних виробів. Ці установки використовуються для виробництва складних та відповідальних виробів в атомній, аерокосмічній та електронній галузях промисловості.

Застосування лазерних установок потужністю від 1 кВт в основному зв'язано з галузями крупного масового виробництва. Тут зазвичай необхідно зварювати досить габаритні конструкції з великою глибиною проплавлення. Зокрема, використання лазерних технологій в літакобудуванні, дозволило зменшити вагу літаків Airbus на 15%.

З моменту впровадження лазерних технологій у більшості випадків використовувались CO₂ –лазери, потужність яких досягала до десятків кіловат. Недоліком газових лазерів є їхній невисокий коефіцієнт корисної дії - наприклад, для лазера потужністю 5 кВт, що забезпечує зварювання сталей товщиною 5 мм, споживана потужність складає 100 кВт.

Після появи на ринку волоконних лазерів потужністю до десятків кіловат в цьому сегменті ринку почали відбуватися суттєві зміни [2]. Це зв'язано з тим що досягнуті параметри по потужності дозволяють зварювати матеріали товщиною до 20-30 мм. За рахунок високого коефіцієнта корисної дії суттєво знизилася енергоспоживання і спростилося обслуговування систем, зменшилися масо-габаритні параметри.

За рахунок цілого ряду технологічних переваг лазерне зварювання ефективно застосовується в світовій промисловості в усіх галузях - від виробництва електронних складників до зварювання деталей обшивки літаків, дозволяючи виходити на принципово новий рівень, створювати компоненти нового покоління, а також ефективно замінювати та доповнювати інші методи зварювання. Зокрема, перспективним в машинобудуванні є використання гібридного лазерного зварювання, що об'єднує в одному процесі лазер і дугу.

Однчасне використання цих двох методів дозволяє об'єднати їхні переваги та усунути недоліки. Дуга діє на поверхні заготовок і створює широкий шов, який, в свою чергу, заповнює зазори. Вона також переносить у зварювальну ванну додатковий присадний матеріал, дозволяє зварнику безпосередньо впливати на металургійні процеси та адгезію зварювального шва до поверхонь заготовок. Лазерне зварювання забезпечує більшу глибину проплавлення і високу швидкість, значно знижуючи за цього необхідну теплову енергію та термічні деформації до рівня, який недосяжний у разі використання дуги.

Досить ефективною та надійною є лазерно-гібридна технологія фірми Fronius, що поєднує лазерний процес зі зварюванням MIG. Основою системи є компактна лазерно-гібридна головка LaserHybrid Twin з інтегрованим зварювальним пальником MIG/MAG і лазерною оптикою. Тримач робота з'єднує лазерно-гібридну головку зі стандартною промисловою роботизованою системою, що забезпечує необхідну гнучкість для роботи на важкодоступних ділянках деталі, а зварювальний дріт розміщується у будь-якому положенні відносно лазерного променя, що дає змогу точно адаптувати процес до найрізноманітніших способів підготовки шва, типів та класів дроту, а також зварювальних завдань. Завдяки вказаній технології можна з'єднувати різноманітні деталі зі сталі й алюмінію зі швидкістю до 8 метрів на хвилину та якнайвищою якістю.

Література:

1. Seyffarth, P. Laser-arc processes and their application in welding and material treatment [Text] / P. Seyffarth, I. V. Krivtsun // Welding and Allied Processes. – London : Taylor and Francis, 2002. – Vol. 1. – 184 p.
2. Méndez, A. and T. Morse. 2006. Specialty Optical Fibers Handbook, 1st Edition. Academic Press, ISBN: 9780123694065.

ДУГОВЕ ПАЯННЯ ТРУБ ІЗ ЦИНКОВИМИ ПОКРИТТЯМИ

Шлапак Л.С., д.т.н., професор, Матвієнків О.М., к.т.н., Сем'яник І.М., інженер

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Останніми роками зростає застосування труб і конструкцій із захисними покриттями. Серед таких покриттів найбільш поширеними є цинкові покриття, оскільки вони володіють високим корозійним захистом, а собівартість є досить низькою. Але використання оцинкованих труб вимагає застосування

високоєфективних способів їх з'єднання, які б забезпечували надійність з'єднання основного металу та цілісності цинкового покриття.

Найчастіше оцинковані труби з'єднують за допомогою різьбових з'єднань або дуговим зварюванням. Застосування різьбових з'єднань є досить затратним та трудомістким, а дугове зварювання призводить до утворення пор в зварному шві та руйнування цинкового покриття в пришовній зоні, а також потребує додаткових заходів антикорозійного захисту зварного шва та пришовної зони. Тому для з'єднання труб із цинковими покриттями доцільно було б застосувати технологію дугового паяння (arc brazing).

Як показав досвід провідних автоконцернів, застосування дугового паяння для з'єднання матеріалів із захисними покриттями дозволяє забезпечити високу міцність з'єднань та не призводить до руйнування покриття, оскільки основою даного процесу є низьке вкладення теплоти в основний метал, що призводить до плавлення тільки присадкового матеріалу [1].

Стрімкий розвиток цифрових технологій останніми роками вплинув на створення нового покоління зварювального обладнання. Зокрема, відомою європейською компанією FRONIUS була розроблена багатофункціональна зварювальна платформа Trans Process Solution (TPS), яка дозволяє реалізувати процес дугового паяння [2].

Літературний аналіз технології дугового паяння показав, що більшість досліджень працездатності паяних з'єднань проводились для тонколистових конструкцій внапуск та обмежувались визначенням міцності випробуваннями на розтяг [3].

В даній роботі для порівняння проводились дослідження напружено-деформованого стану стикових з'єднань оцинкованих труб, виконаних дуговим зварюванням та паянням, які навантажувались внутрішнім тиском 9 МПа.

Для дослідження використовувались оцинковані труби (діаметром 150 мм, товщиною стінки 3,2 мм зі сталі 16ГС). Дугове зварювання (MIG/MAG) проводилось з використанням зварювального дроту Св-08Г2С в суміші 82%Ar+18%CO₂, а дугове паяння з використанням присадкових матеріалів на основі міді марок CuSi3 та CuAl8, в середовищі аргону.

Проведені раніше дослідження методом імітаційного моделювання показали, що найбільші напруження в трубних зразках виникають у пришовній зоні кільцевого шва. Вимірювання напружень проводились методом тензометрії, для цього у 8 точках біля кільцевого зварного та паяного швів наклеювались тензорезистори, які приєднувались до реєструючого комплексу «SPIDER-8».

Опрацювавши отримані числові дані з реєструючого комплексу, було побудовано графік розподілу кільцевих напружень у навколошовній зоні зварного та паяного з'єднань труб при величині внутрішнього тиску 9 МПа (рис. 1).

З графіка розподілу напружень бачимо, що при тиску 9 МПа максимальна величина кільцевих напружень у зварному з'єднанні становить 200 МПа, а в паяному з'єднанні 208 МПа, що свідчить про достатньо високу міцність паяних з'єднань на рівні зі зварними.

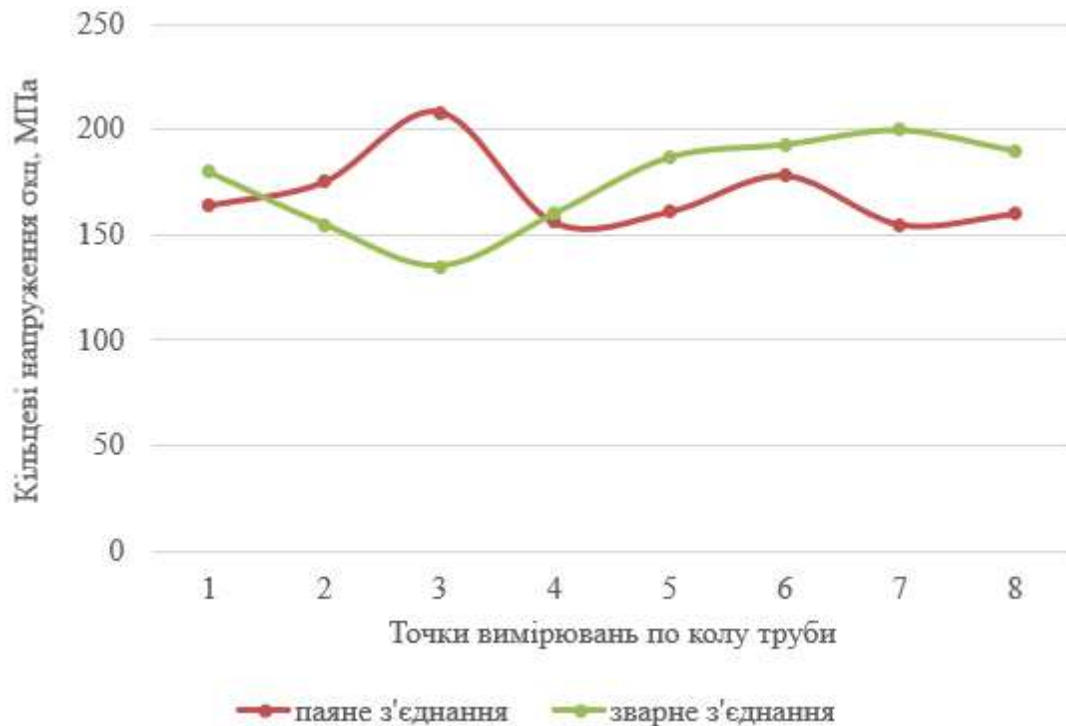


Рис.1. Розподіл кільцевих напружень по зовнішній стінці труби при навантаженні внутрішнім тиском

Отже, застосування дугового паяння для з'єднання оцинкованих труб дозволяє забезпечити достатню міцність з'єднань, та не потрібно проводити їх антикорозійний захист.

Література:

1. Quintino L. MIG Brazing of Galvanized Thin Sheet Joints for Automotive Industry / L. Quintino, R. Miranda, G. Pimenta. // Materials and Manufacturing Processes. – 2006. – №21. – С. 63–73.

2. FRONIUS УКРАИНА [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-DD82EC17-570044F3/fronius_ukraine/hs.xsl/2510_2787.htm#.VqVBilkTBC1.

3. Rykała J. Influence of the technological conditions of welding using the MIG/MAG method on metal transfer in the welding arc [Електронний ресурс] / J. Rykała, T. Pfeifer // Welding International. – 2013. Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1080/09507116.2012.753233>

КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВСТАВНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ОСНАЩЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ ДЛЯ БУРІННЯ ОСОБЛИВО МІЦНИХ ПОРІД

¹Яким Р. С., д.т.н., проф., ²Сліпчук А.М., к.т.н., доцент

¹Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка

²Національний університет «Львівська політехніка»

Однією з найскладніших задач сучасного долотобудування є забезпечення нафтогазової та гірничої промисловості високоякісними тришарошковими буровими долотами для буріння особливо міцних порід. Такі бурові долота виготовляють з породоруйнівним оснащенням шарошок на основі вставних твердосплавних вставок. Особливості конструкції породоруйнівного оснащення та надзвичайно важкі умови експлуатації доліт висувають комплекс вимог, які досить важко задовольнити в умовах реального виробництва. Тому розробка надійних критеріїв щодо підходів у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт є актуальним та має важливе практичне значення для вітчизняного долотобудування.

З цією метою проаналізуємо характерні причини, що спричинили відмови породоруйнівного оснащення шарошкових доліт. Застосуємо ступенево-логічний аналіз, що уможливить встановити характер взаємозв'язків між базовими чинниками, які враховуються при прийнятті рішень. При цьому враховували комплекс якісних показників (металознавчих, фізико-механічних, конструкторсько-технологічних, експлуатаційних та економічних), які визначають параметри технічного стану елементів долота, оцінкою якого є відмова.

Дослідження проводились в умовах реального виробництва бурових доліт, за умов математичного планування експериментів, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних та натурних випробовувань.

Якісна оцінка тришарошкових доліт, як і будь-якого складного і відповідального виробу, здійснюється через призму комплексної множини параметрів якості з оцінки характеристик процесів на усіх етапах створення доліт. Оскільки всі елементи долота працюють у вкрай важких умовах, то якість долота повинна гарантувати задану безвідмовність роботи. Тому в долотобудуванні прийнято, що якість окремих елементів конструкції, деталей долота визначає якісні показники цілого долота. При цьому в структурі конструкції елементів опори та породоруйнівного оснащення застосовується принцип резервування, що уможлиблює розвантажити найбільш навантажені елементи.

Відомо, що одним з основних пунктів у встановленні довговічності породоруйнівного оснащення тришарошкового бурового долота є питання формування поняття відмови. При цьому суттєвим є встановлення тих елементів і вузлів, відмова яких спричинює повну чи часткову втрату працездатності долота із заданою ймовірністю чи ризиком (рис. 1). Для цього необхідно встановити причини відмов та взаємозв'язок між найбільш

імовірною причиною відмови та імовірним наслідком, що спричинив вихід із ладу елемента долота.



*а – розколювання тіла шарошки,
 б – відламування цапфи лапи,
 в – заклинювання опор і зупинення обертання шарошок,
 г – розколювання, зношування, випадання вставного породоруйнівного
 оснащення шарошок*

Рис.1. Найбільш поширені пошкодження, що спричинюють передчасний вихід з ладу породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт, призначених для буріння особливо міцних гірських порід

Імовірність виникнення відмови i -того елемента долота представимо імовірністю технічного стану елемента системи.

$$p_i = P[X_i = 1] = EX_i$$

де X_i – двійкова випадкова величина, що приймає значення 1 і 0 та означає однозначність технічного стану i -того елемента долота.

Тоді для системи елементів долота можна ввести структурну функцію $\varphi(x)$, яка є двійковою випадковою величиною із розподілом імовірності, що визначається сумісним розподілом ймовірностей величин X_1, X_2, \dots, X_n :

$$p_s = P[\varphi(X) = 1] = E\varphi(X).$$

Оскільки базові події, що спричинюють конкретний стан елемента системи, є незалежними, сумісний розподіл ймовірностей величин X_1, X_2, \dots, X_n визначиться значеннями p_1, p_2, \dots, p_n , тоді функція надійності долота як системи, в якій стаються визначені події, буде мати вигляд

$$p_s = p_s(p),$$

при цьому

$$p = (p_1, p_2, \dots, p_n).$$

Формально деталі і елементи долота можуть знаходитись у двох станах: подія (відмова) сталась, чи немає події (відмови) [5]:

$$\begin{aligned} p_s(0) &= E[\varphi(X) | p_1 = 0, \dots, p_n = 0] = \varphi(0) = 0, \\ p_s(1) &= E[\varphi(X) | p_1 = 1, \dots, p_n = 1] = \varphi(1) = 1. \end{aligned}$$

Тоді можна описати аналіз відмов, які реалізуються в умовах експлуатації, за допомогою ступеневих логіко-імітаційних моделей. Побудова дерев відмов і їх аналіз дає можливість виявити імовірні шляхи, які ведуть до відмови долота.

Висновки. У результаті досліджено характер пошкодження та основні причини низької довговічності породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт, призначених для розбурювання особливо міцних гірських порід. Запропоновано схему виявлення параметрів елементів технологічної системи, які визначають якісні показники вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт. Застосовуючи ступенево-логічний аналіз для виявлення причин відмов долота досліджено характер взаємозв'язків між кореневими чинниками (як подіями, що формуються на етапах проектування доліт та технології їхнього виготовлення) та відмовами з позиції параметрів технічного стану елементів долота. Застосування ступенево-логічних моделей уможлиблює не тільки виявляти причини відмов породоруйнівного оснащення бурових доліт, а й приймати коректні й обґрунтовані рішення щодо забезпечення якості процесів на основних етапах життєвого циклу виготовлення доліт. Формалізація критеріїв визначення умов мінімальних шляхів та мінімальних перерізів для ступенево-логічних моделей відмов породоруйнівного оснащення доліт уможлиблює застосовувати інтегровані інформаційні технології в управлінні процесами виробництва.

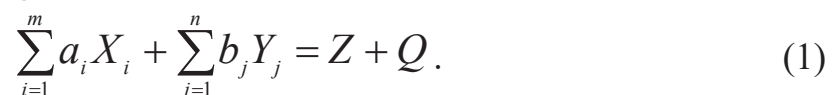
APPLICATION OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS IN TECHNOLOGIES OF WEAR-RESISTANT COATINGS DEPOSITION

¹ Lutsak D.L., *Ph.D., Docent*, ² Seniutovych A.R., ² Lutsak L.D., *Ph.D., Docent*

¹ *Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,*

² *Cross-Sectoral Scientific and Production Center "Epsilon LTD"*

The technology of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is one of the effective technologies for manufacturing a wide range of materials and coatings including composites [1-3]. The essence of SHS technology lies in the direct synthesis of the refractory compounds in the exothermic reactions between the chemical elements. In the most general form an SHS reaction can be described as [2]:



where X_i – metal in solid state (*Al, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W*, etc.),

Y_j – metal or nonmetal in solid, liquid or gaseous state (*Al, C, B, Si, N₂, O₂, H₂, S, Se*, etc.),

Z – synthesis products (carbides, borides, silicides, nitrides, oxides, hydrides, intermetallics).

Q – thermal effect of the reaction.

Among the areas of technology, where SHS finds its widespread use, there is a number of technologies for wear-resistant coatings deposition, such as thermal spraying, weld surfacing, electrospark doping, diffusion saturation and others. At the same time, it is necessary to note that application of SHS in these technologies is possible in two fundamentally excellent methods [4]:

1) application of different types of source materials (powders, electrodes, etc.), obtained by the SHS method;

2) combining the coating deposition technology with the SHS method in a single technological cycle.

In the first case SHS is used only at the stage of manufacturing raw materials by chemical synthesis, expanding their list and ensuring the profitability and quality of the resulting compounds. It is noted [5] that in the case of powder SHS-materials usage it is possible to move away from the use of mechanical mixtures of powders, which in the end improves the uniformity of the applied coatings.

Considerably wider prospects opens the second method of combining the coating deposition technology with the SHS in a single technological cycle, since it allows combining the advantages of both SHS and specific coating deposition technology.

One of the most successful examples of such a combination is the technology of centrifugal SHS-casting or reactive surfacing with the use of thermite-type powder mixtures. This technology allows receiving ceramic and metal-ceramic coatings up to 3 mm in thickness on internal surfaces of metal pipes up to 5.5 m in length [6].

Combining SHS with the technologies of gas-thermal and plasma spraying also allows to improve the quality of the resulting coatings by increasing the thermal activity of the spray particles and increasing the adhesion strength of the spray coating to the background material [5].

Combining SHS with electric arc surfacing of wear-resistant coatings also has a number of features. As was shown at [7] such combining allows to increase the abrasive wear resistance of deposited coatings by $\sim 27\%$ in comparison with traditional electric arc surfacing. This is explained by the discovered differences in microstructure of deposited coatings.

Summing up, it is worth noting that due to the wide possibilities of SHS in obtaining a large number of refractory compounds and materials with certain physical and mechanical properties, the scope of SHS application, including technologies of wear-resistant coatings deposition, is continuously increasing.

Combining the coating deposition technology with the SHS serves as a classification feature of dividing into fundamentally excellent methods of its application in the technologies of wear-resistant coatings deposition. Having highlighted the advantages of each method, one can come to the conclusion that considerably wider prospects opens the method combining the coating deposition technology with the SHS method in a single technological cycle, since it allows since it allows combining the advantages of both SHS and specific coating deposition technology.

References:

1. Tavadze, G. F., & Shteinberg, A. (2013). Production of advanced materials by methods of self-propagating high-temperature synthesis. Springer Science & Business Media.
2. Merzhanov A. G. & Mukasyan A. S. (2007). Tverdoplamennoe gorenje. Torus Press.
3. Wang, Y. F., & Yang, Z. G. (2007). Finite element analysis of residual thermal stress in ceramic-lined composite pipe prepared by centrifugal-SHS. Materials Science and Engineering: A, 460, 130-134.
4. Lutsak, D. L., Kryl, Ya. A., & Pylypchenko, O. V. (2015). Zastosuvannia samoposhyriuvanoho vysokotemperaturnoho syntezu v tekhnolohiiakh nanesennia znosostiikykh pokryttiv. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, (2), 43-50.
5. Borisova, A. L., & Borisov, Yu. S. (2008). Ispolzovanie processov samorasprostranyayushegosya vysokotemperaturnogo sinteza v tehnologii gazotermicheskogo napyleniya pokrytij. Poroshkovaya metallurgiya, (1-2), 105-125.
6. Koidzumi, M. (1998). Himiya sinteza szhiganiem. Mir.
7. Lutsak, D., Prysyzhnyuk, P., & Karpash, M. (2016). Analysis of the microstructure of TiC-based surfaced layer by combining arc surfacing with self-propagating high-temperature synthesis. Metallurgical and mining industry, (2), 126-132.

ТОВ «КУЛЕВ-ІНВЕСТ»

м. Івано-Франківськ

вул. Ботанічна, 4

тел.:+38050 026 7362

Підприємство створено 2011 р. та працює в галузі енергетики та енергозбереження. Основні напрямки діяльності: продаж теплотехнічного та газового обладнання; оптова торгівля обладнанням паливно-енергетичного призначення; монтаж водопровідних мереж, систем опалення та кондиціонування; монтажні роботи технологічного устаткування паливно-енергетичного комплексу; діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування в цих сферах; проектні роботи; будівництво житлових і нежитлових будівель (будівельні та монтажні роботи загального призначення; будівництво об'єктів інженерної інфраструктури - зовнішні та внутрішні інженерні мережі); розрахунок, підбір, виготовлення пластинчатих теплообмінників на базі пластин «SONDEX»; виробництво з компанією «Danfoss» індивідуальних теплових пунктів; виробництво та монтаж котелень потужністю від 200 кВт до 10 МВт: парових, газових, твердопаливних (на альтернативних видах палива), виробництво та влаштування модульних котелень; облік теплової енергії; холодної, гарячої води та пари; комерційний та технологічний облік газу; енергоаудит, пусконаладжувальні, режимноналаджувальні та екологотеплотехнічні роботи.

Підприємство має власне виробництво з виготовлення: транспортабельних котелень на різних видах палива; металоконструкцій під замовлення (для димових труб, несучих конструкцій); попередньо ізольованих труб та фасонних частин; хімоводопідготовчого обладнання та елементів його комплектації; пластинчатих теплообмінників на базі пластин «SONDEX»; спірально-навивного повітропроводу для систем вентиляції; поліетиленових труб для систем водопостачання.

2013-2018 рр. підприємство активно займалось впровадженням альтернативних джерел енергії (сонця, теплових насосів з високим коефіцієнтом перетворення).

Якість всіх робіт та послуг, відповідають нормам, стандартам галузі будівництва України та відповідним міжнародним стандартам. Будівельно-монтажні роботи технологічного устаткування паливно-енергетичного комплексу здійснюються згідно ліцензії на господарську діяльність будівництва об'єктів IV та V категорії складності. Пройдено перевірку Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України, є дозвіл на виконання робіт підвищеної небезпеки, що дозволяє реалізовувати будь-які комплексні проекти енергетичного будівництва, забезпечуючи найвищі стандарти безпеки та якості. Власне виробництво підприємства також сертифіковано, а система управління якістю відповідає стандартам ISO 9001:2015.



ТОВ Рефіт Україна
76014, Івано-Франківськ,
вул. Дудаєва 10,
тел. [+38\(0342\)54-16-09](tel:+380342541609)
тел. [+38\(094\)923-76-09](tel:+380949237609)
e-mail: biuro@refit.com.ua

ТОВ «Рефіт» – масштабний постачальник робочих вузлів і комплектуючих для верстатів з ЧПК, засобів автоматизації і систем енергозбереження для виробничих підприємств.

Офіційними партнерами компанії є авторитетні виробники технологічної оснастки та запчастин до ЧПК, розробники іновативних методів управління технологічними комплексами на підприємствах різних галузей (верстатобудування, металообробка, лісова, хімічна промисловість і т.д.) Інженери ТОВ «Рефіт» вирішують завдання, пов'язані з вибором і постачанням обладнання для підприємств, де експлуатуються сучасні верстати з числовим програмним керуванням.

Постачання продукції в регіони

Компанія «Рефіт» постачає в регіони України все, що необхідно для ЧПК:

- електронні компоненти управління;
- електроприводи;
- механічні деталі;
- двигуни в зборі;
- інструменти.

Крім комплектуючих для ЧПК верстатів, компанія постачає високотехнологічні апарати плазмової різки. ТОВ «Рефіт» – офіційний представник найбільшого виробника плазморізів Hypertherm. Новітні апарати, елементи оснастки і запчастини для верстатів ЧПУ завжди в наявності на складі, тому наші замовники отримують все необхідне для безперебійного виробничого циклу.

Автоматизація технологічних процесів

ТОВ «Рефіт» допомагає в підборі обладнання для проектів різноманітних автоматизованих комплексів, враховуючи виробничий потенціал підприємства-замовника. Наші клієнти – це інженери і технологи, які впроваджують нові засоби автоматизації, об'єднуючи їх з діючим обладнанням, або які створюють технологічні лінії «з нуля».

Гарантія та переваги

ТОВ «Рефіт» гарантує високу якість комплектуючих для ЧПК, своєчасну поставку обладнання, надання пакету документів, передбачених законодавством.

Справедливі ціни, врахування пріоритетних побажань замовника, постійний зв'язок з інженерами підприємств, що працюють з обладнанням, яке ми постачаємо, дозволяють клієнтам організувати високоефективне виробництво, випуск якісної продукції, яка відповідає вимогам міжнародних стандартів. Детальний опис обладнання і запчастин до ЧПК, що постачаються нами, перелік послуг, електронний каталог продукції, список продаж по акціям представлені на сайті ТОВ «Рефіт» (refit.com.ua).



Котли **Галус** – це сучасні сталеві твердопаливні котли, що можуть працювати на дровах, брикетах, пелетах, вугіллі та на кускових відходах деревообробки



Твердопаливні котли **Галус** – затишок та тепло у Вашому домі



м. Івано-Франківськ,
вул. Ленкавського 22

www.europrylad.com
director@europrylad.com

+38 (095) 634-75-90
+38 (0342) 77-60-49 (51) (52)



Міжгалузевий науково-виробничий центр «Епсілон ЛТД» пропонує:

- розроблення та впровадження технологій відновлення та зміцнення швидкозношуваних сталевих і чавунних деталей;

- зносостійкі порошкові наплавочні електроди та стрічки власного виробництва;

- виготовлення, ремонт та озброєння бурового інструменту;

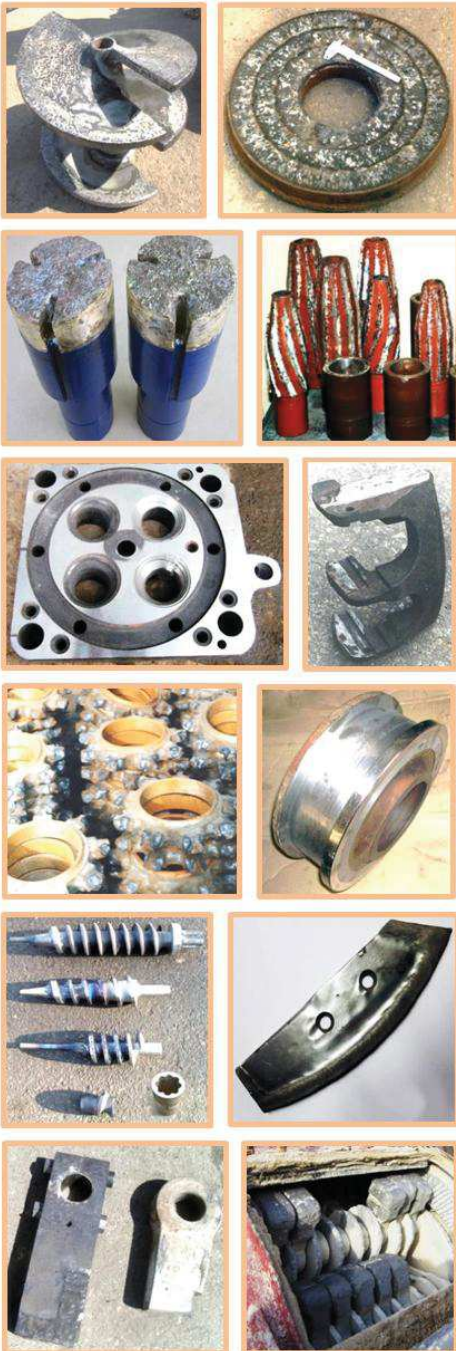
- паяння твердосплавних пластин до ріжучого інструменту.

Наша адреса:

www.epsilon.ltd.ua

м. Івано-Франківськ, вул. Макухи, 2Е

☎ +38(0342)559 000; 067 77 85 881



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

Формат видання 148×210мм.
Формат паперу і частка аркуша 210х297^{1/4}.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 60. Тираж 100 прим. Зам. 6010578/19
Віддруковано з оригіналів автора.

Друкарня “Фоліант”
76000, м. Івано-Франківськ
вул. Старозамкова, 2
www.foliant.if.ua
e-mail: foliant.drukarnja@gmail.com
тел.-факс: +38(0342) 50-21-65
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи Серія ІФ № 24 від 20.07.2014

