

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
“Львівська політехніка”
Івано-Франківський
національний технічний
університет нафти і газу
Jan Grodek State University in
Sanok, (Poland)

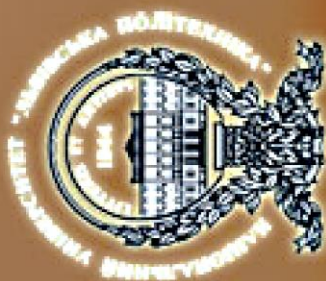
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

IX-ої Міжнародної
науково-технічної конференції

***“Прогресивні
технології в
машинобудуванні”***

3 - 7 лютого 2020
Львів – Плай

*Львівська політехніка
Національний університет*





*Національний університет “Львівська політехніка”
вітає учасників ІХ-ої Міжнародної
науково-технічної конференції “Прогресивні
технології в машинобудуванні”*



CONFERENCE PROCEEDINGS

**IX INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**“ADVANCED
TECHNOLOGIES IN
MECHANICAL
ENGINEERING”**

**3-7 February 2020
Lviv-Play (Carpathians)**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА”, УКРАЇНА

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, УКРАЇНА
JAN GRODEK STATE UNIVERSITY IN SANOK, POLAND



ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Грицай Ігор (Україна) — *голова*, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”.

Ланець Олексій (Україна) — *співголова*, д.т.н., проф., директор інституту інженерної механіки та транспорту Національного університету “Львівська політехніка”.

Панчук Віталій (Україна) – *співголова*, д.т.н, проф., завідувач кафедри комп’ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Ziobro Jan (Poland) — *співголова*, prof., Jan Grodek State University in Sanok, Technical Institute

Alper Uysal (Turkey) — PhD, Prof., Yildiz Technical University Department of Mechanical Engineering,

Božanský Miroslav (Slovak Republic) - Prof., Slovak University of Technology, Institute of transport technology and designing

Jedrzejewski Jerzy (Poland) – Prof., Dr.Sc., Wrocław University of Science and Technology

Edl Milan (Czech Republic) - Assoc. Prof., University of West Bohemia, Faculty of Mechanical Engineering

Воронцов Борис (Україна) - д.т.н., професор кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім.Сікорського;

Гурей Ігор (Україна) - д.т.н, проф. кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”;



Залога Вільям (Україна) - д.т.н, проф., академік АН ВО України, завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету;

Іванов Віталій (Україна) - д.т.н, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету;

Ковальов Віктор (Україна) - д.т.н., проф., завідувач кафедри металорізальних верстатів та інструментів Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ);

Луців Ігор (Україна) – д.т.н., проф., професор кафедри «Конструювання верстатів, інструментів та машин» Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя

Оргіян Олександр (Україна) - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування Одеського Національного політехнічного університету;

Пасічник Віталій (Україна) - д.т.н., проф., проректор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

Пермяков Олександр (Україна) - д.т.н., проф., кафедри «Технології машинобудування і металорізальні верстати» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Петраков Юрій (Україна) - д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

Ступницький Вадим (Україна) - д.т.н, професор кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”;

Тонконогий Володимир (Україна) - д.т.н., проф., завідувач кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні, директор Інституту промислових технологій, дизайну і менеджменту Одеського Національного політехнічного університету;

Сліпчук Андрій (Україна) – *секретар*, к.т.н, доц., доцент кафедри технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка”.

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Грицай І.Є. – д.т.н., проф., зав. кафедри ТМБ

Гурей І.В. – д.т.н., проф. кафедри ТМБ

Ступницький В.В. – д.т.н., доц. кафедри ТМБ

Кусий Я.М. – к.т.н., доц. кафедри ТМБ

Сліпчук А.М. – к.т.н., доц. кафедри ТМБ

Новіцький Ю.Я. – к.т.н. асистент кафедри ТМБ

Голдирева І.А. – інженер кафедри ТМБ

Сердітова Т.В. – інженер кафедри ТМБ



3MICT

1. EFFECT OF MWCNT ON SURFACE ROUGHNESS AND BURR HEIGHT IN MQL MILLING OF AISI 430 FERRITIC STAINLESS STEEL

Alper Uysal¹, Eshreb Dzhemilov², Ruslan Dzhemalyadinov²

¹*Yildiz Technical University Department of Mechanical Engineering,*

²*Crimean Engineering and Pedagogical University*

16

2. CONCEPTUAL SURVEY OF HYBRID MACHINING PROCESSES AND THEIR MANUFACTURING POSSIBILITIES

Grzesik W., *Doctor of Technical Sciences, Professor,*

Opole University of Technology, Poland

19

3. COMPUTER MODELING OF DYNAMICS OF ROPE TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Heletiy Volodymyr, *PhD, Associate Professor, Lanets Olena, PhD.*

Lviv Polytechnic National University

20

4. RESEARCH OF RADIALLY-CIRCULAR GENERATING METHOD OF GEARS CUTTING USING A SOLIDWORKS PROGRAM

Hrytsai I., *D.Sc. prof., Zinchenko D., M.Sc.*

Lviv Polytechnic National University

22

5. INTELLIGENT MACHINE TOOL DESIGN APPROACH AND LIMITATIONS

Jedrzejewski Jerzy, *Professor, Kwasny Wojciech, PhD*

Wroclaw University of Science and Technology, "Department of Machine Tools and Mechanical Technologies",

24

6. RESEARCH OF THE FINISHING AND STRENGTHENING TECHNOLOGICAL OPERATIONS BY USING SADT-TECHNOLOGIES

¹Kusyi Y.M., *PhD, associate professor,* ²Lychak O. V., *PhD., senior researcher,* ³Radu S.-M., *Ph.D.Eng, professor,* ³Moraru R., *Ph.D. Habil. Eng, professor,* ⁴Kojić D., *PhD, associate professor*

¹ *National University "Lviv Polytechnic",*

² *Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine*

³ *UNIVERSITY OF PETROSANI*

⁴ *UNIVERSITY PIM (Banja Luka)*

27



7. FINITE ELEMENT SIMULATIONS OF RUBBER SEALS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Nycz D.B, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor

The Jan Grodek State University in Sanok, Poland

CADM Automotive Sp. z o.o.

30

8. THE PREVENT OF THE LOSS OF WASHING FLUID IN THE DRILLING PROCESS THANKS TO REDUCING THE GAP OF THE TOOL JOINT TAPERED THREAD TO EFFECTIVELY

¹Onysko Oleh, ¹Borushchak Lubomyr, ²Tkachuk Valentyna, ³Cristian Barz

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of oil and gas

²Lutsk National Technical University

³Technical University of Cluj-Napoca - North University Centre of Baia Mare

34

9. COMPARISON OF HCR GEARS COATED BY PVD COATING AlCrN WITH NON-COATED HCR GEARS LUBRICATED BY BIO-FRIENDLY LUBRICANT

¹Rusnák J., CsC, Professor, ¹Kadnár M., PhD, Assistant professor, ¹Tóth F., PhD, ²Bošanský M., CsC, Professor

¹ Faculty of Engineering, Department of Machine Design, Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia

² Institute of Transport Technology and Designing, Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovakia,

36

10. SIMULATION AND ANALYSIS OF CUTTING MECHANISMS WHEN MACHINING TITANIUM ALLOYS

She Xianning, Stupnytskyy V, D.Sc., Prof.

Lviv Polytechnic National University

36

11. RESEARCH THE TENSIONAL STATE OF THREAD JOINTS DRILLING PIPES UNDER THE EXTERNAL LOADS

Vriukalo V.V., Ph.D., Associate Professor, Odosii Z.M, Ph.D., Professor, Shpytalnyi T.M.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

39

12. FEM NUMERICAL ANALYZES OF THE RUBBER BOOT OF THE JOINT DRIVE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Ziobro J., Doctor of Technical Sciences, Director of the Technical Institute

The Jan Grodek State University in Sanok, Poland

41



13. WIND ENERGY OF SOUTH AND EAST SERBIA

¹Živković M. P., *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ²Tomić A. M., *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ¹Petković Lj. D. , *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ¹Vukić V. M. *Doctor of technical sciences, Professor*, ¹Dimitrijević Jovanović G. D, *post-graduate student*

¹*University of Niš, "Faculty of Mechanical Engineering"*,

²*University of Novi Sad, "Faculty of Technical Sciences"*

43

14. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Афтаназів І.С., *д.т.н., професор*, Шевчук Л.І., *д.т.н., професор*, Строган О.І., *к.т.н. старший викладач*, Бойко О.О., *к.т.н., доцент*
Національний університет «Львівська політехніка»

51

15. ВИНИКНЕННЯ ГАЗОВОЇ КОРОЗІЇ НА ПОВЕРХНЯХ КАНАВОК ВИСОКОШВИДКІСНИХ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Віштак І.В., *к.т.н., доцент*, Савуляк В.І., *д.т.н., професор*
Вінницький національний технічний університет

54

16. ВПЛИВ ФАЗОВОГО СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ СИСТЕМИ В-N_v-C НА ЙОГО РІЗАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

¹Волкогон В.М., *д.т.н., професор*, ²Антонюк В.С., *д.т.н., професор*, ¹Аврамчук С.К., *к.т.н.*, ¹Федоран Ю.А., *к.т.н.*, ¹Кравчук А.В., *к.т.н.*

¹*Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича Національної академії наук*

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

57

17. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

Гаврильченко О.В., *к.т.н., професор*, Корендій В.М., *к.т.н., доцент*, Шенбор В.С., Брусенцов В.Г.

Національний університет «Львівська політехніка»

60

18. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВАНТАЖІВ ТЕЛЕСКОПІЧНИМИ ГВИНТОВИМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ

Гевко І.Б., *д.т.н., професор*, Ляшук О.Л., *д.т.н., доцент*, Гудь В.З., *к.т.н., доцент*

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

63



19. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ОСІ ШВИДКООБЕРТАЮЧОГО ШПИНДЕЛЯ ВЕРСТАТА ПІД ДІЮ ГІРОСКОПІЧНИХ СИЛ

Гурей В.І., *к.т.н.*, Дмитерко П.Р., *к.т.н.*, Кузьо І.В. *д.т.н.*, професор
Національний університет «Львівська політехніка»

66

20. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ЙОГО КОМБІНОВАНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Гурей І.В., *д.т.н.*, професор, Гурей Т.А., *к.т.н.*
Національний університет «Львівська політехніка»

71

21. ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОСТІ СИСТЕМИ ОСНОВА-ПОКРИТТЯ НА ПОКАЗНИК СИНГУЛЯРНОСТІ НАПРУЖЕНЬ

Долгов М.А., *д.т.н.*,
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ,
Україна

75

22. ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ АВТОКОЛИВАНЬ

Дядя С.І., *к.т.н.*, доцент, Козлова О.Б., *к.т.н.*, Гермашев А.І., *к.т.н.*
Варава Н.А., *магістр*
Національний університет «Запорізька політехніка»

78

23. ПИЛОЗАХИСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ І СВС

¹Жигуц Ю.Ю., *д.т.н.*, професор, ¹Легета Я.П., *ст. викл.*, ²Лазар В.Ф.,
к.т.н., доцент, ²Хом'як Ю.Я., *к.ф.-м.н.*, доцент

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

²Мукачівський державний університет

81

24. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОЇ ПРИТИРАЛЬНОЇ МАШИНИ З КОЛОВИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

¹Захаров В.М., ²Кузьо І.В., *д.т.н.*, проф., ²Корендій В.М., *к.т.н.*, доц.

¹ПрАТ «ЛЕЛЗ «Іскра»

²Національний університет «Львівська політехніка»

84



25. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ

Іванов В.О., д.т.н., доцент, Залога В.О., д.т.н., професор, Колос В.О.
Сумський державний університет, м. Суми

87

26. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ШТАМПІВ ДЛЯ ВИСІКАННЯ РОЗГОРТОК КНИЖКОВИХ ОБКЛАДИНОК

Киричок П.О., д.т.н., професор, Палюх О.О. к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

90

27. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ З ПОШКОДЖЕНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ І КОРОЗІЙНИМИ ДЕФЕКТАМИ

Кичма А.О., к.т.н., доцент, Новіцький Ю.Я., к.т.н., старший викладач, Предко Р.Я., к.т.н., старший викладач
Національний університет «Львівська політехніка»

93

28. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ОБОРОННОГО ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ковальов В.Д., д.т.н., професор, Васильченко Я.В., д.т.н., доцент, Хорошайло В.В., к.т.н., доцент, Шаповалов М.В., к.т.н., асистент, Нестеренко В.М., аспірант
Донбаська державна машинобудівна академія м. Краматорськ

97

29. ТЕПЛОНАПРУЖЕНІСТЬ ПРОЦЕСУ ТА ДИНАМІКА ПЕРЕРИВЧАСТОГО ЗУБОШЛІФУВАННЯ ЗА РАХУНОК ФОРМОУТВОРЕННЯ КРУГА

¹Ковальов В.Д., д.т.н., професор, ²Клочко О.О., д.т.н., професор, ¹Васильченко Я.В., д.т.н., доцент, ²Анциферова О.О., к.т.н. старший викладач, ¹Шаповалов М.В., к.т.н., асистент.

¹*Донбаська державна машинобудівна академія*

²*Національний технічний університет «ХПІ»,*

100

30. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЇ ЖОРСТКІСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ЇХ ЗНИЖЕННЯ У ПРОЦЕСІ КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

¹Кононенко С.М., аспірант, ¹Добротворський С.С., д.т.н., проф., ¹Басова Е.В. к.т.н., доц., ¹Добровольська Л.Г. к.т.н., доц., ²Едл М. Ph.D

¹*Національний технічний університет «ХПІ»*

²*Західночеський університет в Пльзні (University of West Bohemia)*

102



31. МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ СТАТИЧНОЇ ТОЧНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОДАЧ КОНСОЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

¹Кривий П. Д. к. т. н., професор, ¹Кобельник В. Р. к. т. н., доцент,
¹Крупа В. В. к. т. н., доцент, ²Тимошенко Н. М. к. ф.-м. н., доцент
¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
²Національний університет «Львівська політехніка»

103

32. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ НА РИЗИКИ СПОЖИВАЧА І ВИРОБНИКА ПРИ КОМПЛЕКТУВАННІ З'ЄДНАНЬ

Купріянов О.В., д.т.н., доц.
Українська інженерно-педагогічна академія

105

33. РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ МАШИНИ

Кусий Я.М., к.т.н., доцент, Ступницький В.В., д.т.н., доцент,
Кук А.М., к.т.н., доцент, Топільницький В.Г., к.т.н., доцент
Національний університет «Львівська політехніка»

107

34. МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ СКЛАДНО-ПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ САД/САЕ СИСТЕМ

Лещенко О.І., к.т.н., доцент
Приазовський державний технічний університет

111

35. НАРІЗАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВЕЛИКИХ ТА СЕРЕДНІХ МОДУЛІВ ЗБІРНИМИ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ ІЗ ТВЕРДОСПЛАВНИМИ ЗУБЦЯМИ ЗМЕНШЕНОГО КУТА ПРОФІЛЮ

Литвиняк Я.М., к.т.н., доц., Юрчишин І.І., к.т.н., доц., Махоркін Є.М., к.т.н., доц.
Національний університет «Львівська політехніка»

114

36. СИСТЕМИ ЗАТИСКУ ТА БАГАТОЛЕЗОВОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ З АДАПТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Луців І.В., д.т.н., професор, Волошин В.Н., к.т.н., доцент,
Буховець В.М., асистент
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

117



- 37. ПРО ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ**
Марчук В.І., *д.т.н., професор*, Марчук І.В., *к.т.н., доцент*,
Сачковська Л.О., *аспірант*, Гринюк С.В., *аспірант* 120
Луцький національний технічний університет
- 38. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ЗУБОХОНІНГУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПАРАМЕТРА ШОРСТКОСТІ (R_{max}) ПОВЕРХНІ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА**
¹Мельник В.Є., *к.т.н.*, ²Кривошея А.В., *к.т.н., с.н.с.*, ³Долгов М.А.,
д.т.н., с.н.с. 122
¹ *Державний науково-дослідний інститут МВС України, м.Київ*
² *Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м.Київ*
³ *Інститут проблем міцності НАН України, м.Київ*
- 39. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ СТУПІНЧАСТИМИ РІЗЦЯМИ З ОДНОВЕРШИННОЮ СХЕМОЮ РІЗАННЯ**
Мироненко Є.В., *д.т.н., професор*, Міранцов С.Л., *к.т.н., доцент*,
Гузенко Д.Є., *асистент* 124
Донбаська державна машинобудівна академія
- 40. ПОСТАНОВКА НЕСТАЦІОНАРНОЇ ГРАНИЧНОЇ ЗАДАЧІ ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ У ЗМІННОМУ ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ**
Молчанов В.Ф. *к.т.н., доцент* 127
Дніпровський державний технічний університет
- 41. СТРУКТУРНІ КРИТЕРІЇ ФОРМУВАННЯ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ЕКВІАТОМНИХ СПЛАВІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**
Паздрій І. П.¹, *к.ф.-м.н., доцент*, Дуфанець М. В.², *аспірантка* 130
¹*Національний університет «Львівська політехніка»*
²*Львівський національний університет імені Івана Франка*
- 42. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕЧНОЇ ПОДАЧІ НА ТОЧНІСТЬ ОТРИМАНОГО ПРОФІЛЮ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ У ПРОЦЕСІ ТОЧІННЯ**
Панчук В. Г., Онисько О. Р., Сенічак В. В. 133
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу



- 43. ТЕХНОЛОГІЯ РЕІНЖИНІРИНГУ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ**
Пасічник В.А., *д.т.н., професор*, Воронцов Б.С., *д.т.н., професор*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 136
- 44. СУЧАСНИЙ МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ КРУПНОГАБАРИТНИХ ШЛІЦОВИХ З'ЄДНАНЬ**
Пермяков О.А., *д.т.н., професор*, Ключко О.О., *д.т.н., професор*, Старченко О.П., *аспірант*, Камчатна-Степанова К.В., *аспірант*
Національний технічний університет «ХПІ», Харків 138
- 45. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК**
Пилипець М.І., *д.т.н., професор*, Лясота О.М., *к.т.н., доцент*
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя 139
- 46. МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТОСТІ ПОРОШКОВОГО ПРОНИКНОГО МАТЕРІАЛУ СКЛАДНОЇ ФОРМИ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**
Повстяной О.Ю., *к.т.н., доцент*; Полінкевич Р.М., *к.т.н., доцент*, Четвержук Т.І., *к.т.н., ст.викладач*, Сичук В.А., *к.т.н., доцент*
Луцький національний технічний університет 142
- 47. КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ НЕТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИЛИВКІВ**
Пономаренко О.І., *д.т.н., професор*, Євтушенко Н.С., *к.т.н., доцент*, Твердохлебова Н.Є., *ст.викл.*, Косенко О.П.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» 145
- 48. ДО ПИТАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ПЛАСТИН ЗІ СКЛОПОДІБНОГО $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$.**
¹Проц Л.А., *к.т.н., доцент*, ¹Головей В.М., *д.х.н.*, ²Лавріненко В.І., *д.т.н., професор*.
¹*Інститут електронної фізики НАН України (м. Ужгород).*
²*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ)* 147



- 49. ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
Романчук Я.П., к.ф.-м.н., доцент
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного **149**
- 50. АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ ЗАХИСНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ НАПОВНЕНИХ ВИСОКОДИСПЕРСНИМИ ПОРОШКАМИ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ**
Савчук П.П., д.т.н., професор, Кашицький В.П., к.т.н., доцент, Мороз І.А., к.х.н., доцент, Садова О.Л., к.т.н., Матрунчик Д.М.
Луцький національний технічний університет **151**
- 51. ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ СТІНОК ОТВОРІВ У ШАРОШЦІ НА НАДІЙНІСТЬ З'ЄДНАННЯ "ШАРОШКА-ЗУБОК"**
¹Сліпчук А.М., к.т.н., доцент, ²Яким Р. С., д.т.н., проф.,
¹*Національний університет «Львівська політехніка»*
²*Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка* **153**
- 52. ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ КАНАТНИХ ДОРІГ**
Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., ст.викладач
Національний університет "Львівська політехніка" **155**
- 53. РОЗРАХУНОК КОМПОЗИТНИХ МАШИНОБУДІВНИХ МАТЕРІАЛІВ З ДЕФЕКТАМИ ТИПУ РОЗШАРУВАННЯ**
Трубачев С.І., к.т.н., доц., Кривова С.Г., к.т.н., ст.викл.
НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" **157**
- 54. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛІ ІЗ СТАЛІ 45 ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ**
Чернета О.Г., к.т.н., доц., Сасов О.О., к.т.н., доц., Аверьянов В.С., к.т.н., доц.
Дніпровський державний технічний університет **159**
- 55. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКОРІЗАННЯ В ПРОЦЕСІ ФІНІШНОЇ АНТИФРИКЦІЙНОЇ БЕЗАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ**
¹Шепеленко І.В., к.т.н., доц., ²Цеханов Ю.О., д.т.н., проф.,
¹Немировський Я.Б., д.т.н., проф., ³Посвятенко Е.К., д.т.н., проф.,
¹Єрьомін П.М., к.т.н.
¹*Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна;*
²*Вороніжський державний технічний університет, Росія;* **162**
³*Національний транспортний університет, Україна*



56. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ТА РОБОТИ СКЛАДСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПІДПРИЄМСТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ДАНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Юрчишин І.І., к.т.н., доцент, Василенко Н.В., студентка, Литвиняк Я.М., к.т.н., доцент

Національний університет «Львівська політехніка»

165



EFFECT OF MWCNT ON SURFACE ROUGHNESS AND BURR HEIGHT IN MQL MILLING OF AISI 430 FERRITIC STAINLESS STEEL

Alper Uysal¹, Eshreb Dzhemilov², Ruslan Dzhemalyadinov²

¹Yildiz Technical University Department of Mechanical Engineering, Besiktas, 34349, Istanbul, Turkey

²Crimean Engineering and Pedagogical University, 8, Uchebnyi side st., Simferopol, Republic of Crimea, 295015

High quality and near-net-shape products could be obtained by modern manufacturing methods. However, the proportion of machining is still large among the manufacturing methods, especially for difficult-to-cut materials such as stainless steels, Titanium alloys, Nickel alloys, etc. Products from corrosion-resistant steels find the application areas in the chemical, medical and other related industries, where the requirements for the quality of parts are very significant. Therefore, the processing of stainless steels is the main issue for many studies [1-3].

The problem of increasing productivity while maintaining the required product quality is often solved through the use and proper selection of cutting fluids. The compositions of cutting fluids used in production are made from oil products, but the environmental problem has been attracting more attention due to containing organic compounds of nitrogen, chlorine, phosphorus and sulfur. This aspect contributes to the development and implementation of advanced technologies aimed at improving the quality of metal machining and reducing the negative impact on the environment [4-8].

In this experimental study, the effect of commercial vegetable cutting fluid and MWCNT (Multi Walled Carbon Nanotube) reinforced vegetable cutting fluid on the surface roughness and burr height during MQL milling of AISI 430 stainless steel with uncoated and TiN coated WC tools were investigated. Surface roughness values of the machined surfaces were measured using Time TR200 surface roughness tester.

By applying MQL method, reductions in surface roughness and burr heights were obtained as compared to dry milling due to effectively reaching of the cutting fluid into the cutting zone. As seen in Figures 1-4, better surface roughness and smaller burr height in nano MQL method were observed than those in dry and MQL operations because of lubrication and heat removal effects of MWCNT particles in nanofluid. In addition, surface roughness and burr height decreased with increasing the MQL flow rate. Because, the amount of pulverizing cutting fluid to the cutting zone increased and so better surface quality could be obtained. Besides, lower surface roughness and smaller burr height were measured with TiN coated WC tools than those measured with uncoated WC tools (Figures 1-4) due to having low friction coefficient of TiN coating.

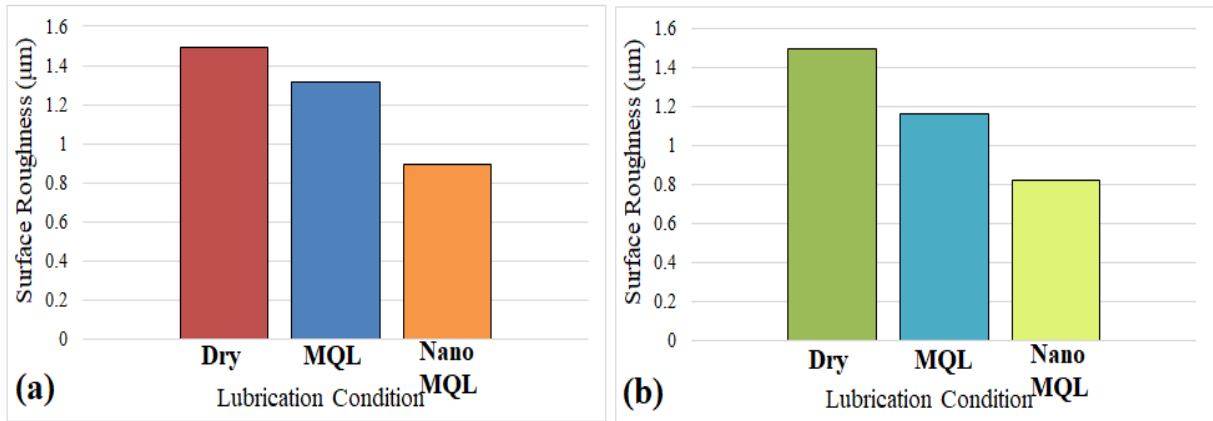


Fig. 1. The variation of surface roughness based on lubrication condition in milling with uncoated WC cutting tool a) MQL flow rate of 20 ml/h and b) MQL flow rate of 40 ml/h

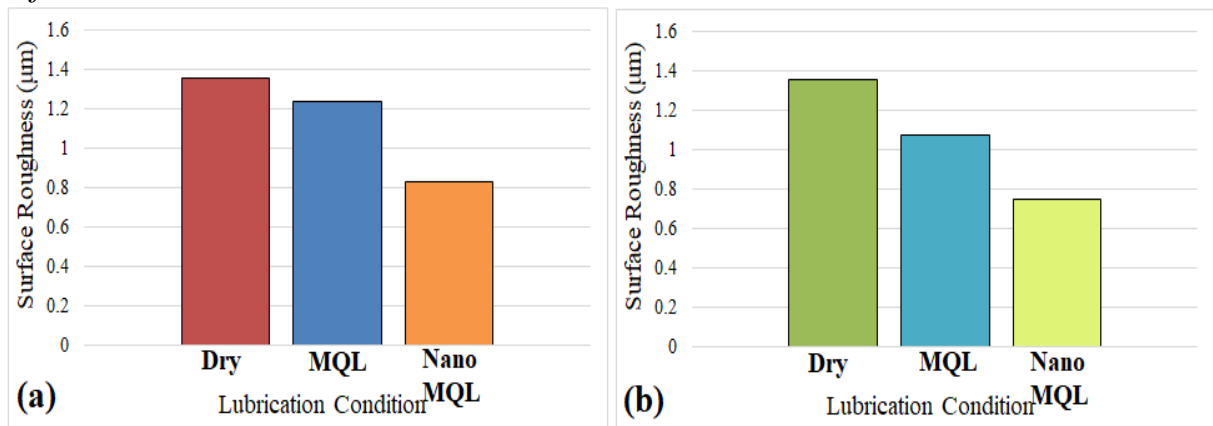


Fig. 2. The variation of surface roughness based on lubrication condition in milling with TiN coated WC cutting tool a) MQL flow rate of 20 ml/h and b) MQL flow rate of 40 ml/h

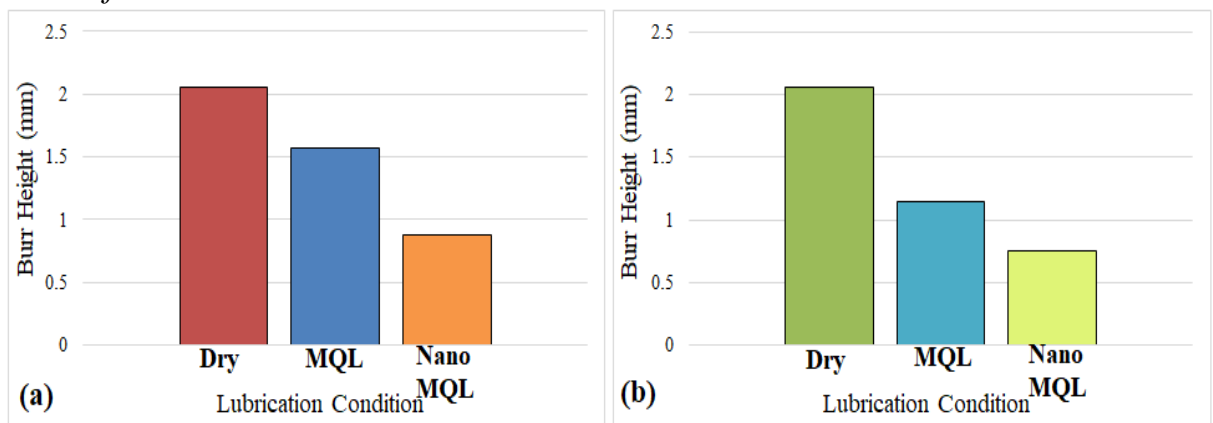


Fig. 3. The variation of burr height based on lubrication condition in milling with uncoated WC cutting tool a) MQL flow rate of 20 ml/h and b) MQL flow rate of 40 ml/h

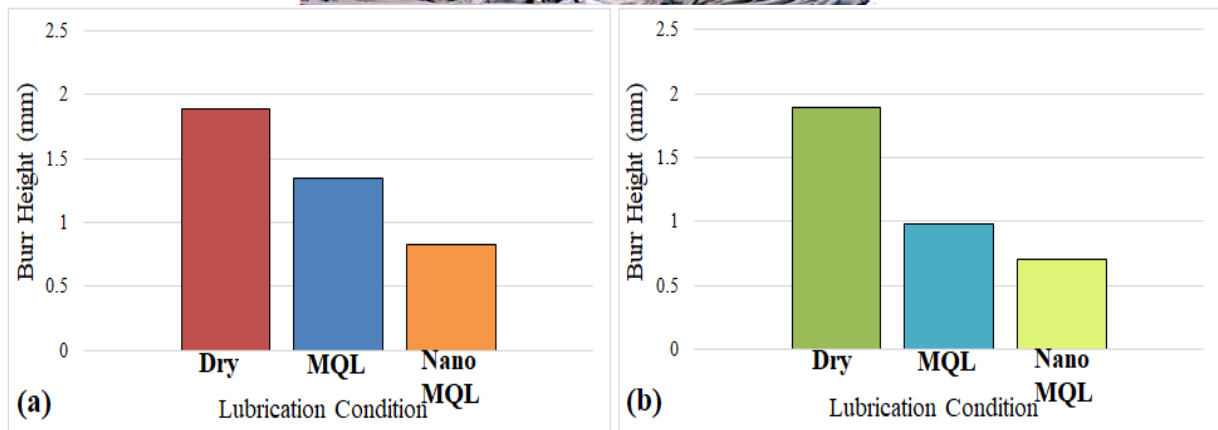


Fig. 4. The variation of burr height based on lubrication condition in milling with TiN coated WC cutting tool a) MQL flow rate of 20 ml/h and b) MQL flow rate of 40 ml/h

Based on the results, an increment at MQL flow rate and also the usage of TiN coating decreased the surface roughness and burr heights. In other words, the surface quality can be improved by using MQL method and TiN coating. Additionally, better surface roughness and smaller burr heights were obtained under nanofluid MQL milling operations due to lubrication and heat removal characteristics of MWCNT particles.

References:

1. Sutar Pooja A., Gujar A.J., Study the effect of machining parameters on surface roughness in CNC Milling of AISI 316L, *International Journal of Engineering Research and Technology*, Volume 10, Number 1, (2017) 801-804.
2. Yao Y., Zhu H., Huang Ch., Wang J., Zhang P., Yao P., Investigation on chip formation and surface integrity in micro end milling of maraging steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, (2019) 1973–1984.
3. Meixia Y., Shaonan L., Hongxin X., Boyan T., Linlin Zh., Investigation on burrs in micro milling of stainless steel 310S, in: *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 244 (2017) 012002.
4. Nowak P., Kucharska K., Kamiński M., Ecological and Health Effects of Lubricant Oils Emitted into the Environment, *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Aug; 16(16): 3002.
5. Ogedengbe T. S., Awe P., Joseph O.I., Comparative Analysis of Machining Stainless Steel using Soluble and Vegetable oils as Cutting Fluids, *International Journal of Engineering Materials and Manufacture* (2019) 4(1) 33-40.
6. Kumar B. Satheesh, Padmanabhan G., Krishna P. Vamsi, Experimental Investigations of Vegetable Oil Based Cutting Fluids with Extreme Pressure Additive in Machining of AISI 1040 Steel, *Manufacturing Science and Technology*, 3(1) (2015) 1-9.
7. Ekinović, S.; Begović, E.; Lušija, A., MQL machining–oil on water droplet system, *IBU Journal of Science and Technology*, 2014, 2, 15.
8. Yakybov Ch., Dzhemalyadinov R., Skakun V., Improving material cutting by application of natural origin oil in: *MATEC Web of Conferences* 224(51):01130 (2018).



CONCEPTUAL SURVEY OF HYBRID MACHINING PROCESSES AND THEIR MANUFACTURING POSSIBILITIES

Grzesik W., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Opole University of Technology, Poland

Hybridization of manufacturing processes is one of the leading strategies in developing Manufacturing 4.0 concept. This paper provides the rules for creating hybrid manufacturing processes which are based on combining different energy sources (assisted processes) or different tools (mixed processes) and using controlled mechanisms of various processes. It leads to the synergic effect ($1+1=3$) on the process performance. For instance, integration of the additive (AM) and subtractive (SM) processes are shown in Fig. 1. In particular, some important rules and advantages as well as technological potentials of the integration of different conventional and unconventional machining operations are discussed. Future trends in the applications of hybrid machining processes are outlined [1,2].

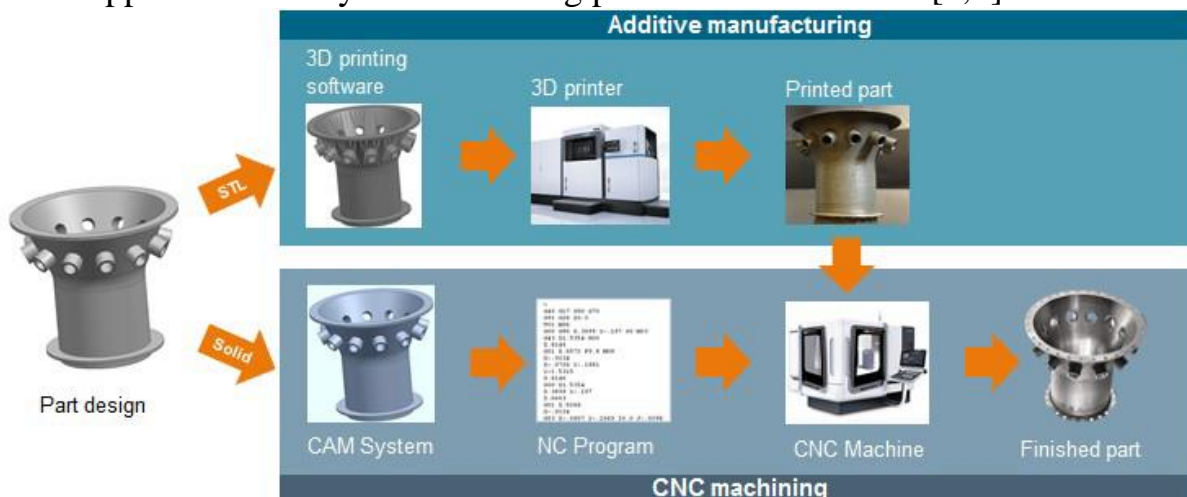


Fig.1. General concept of technological integration of additive and subtractive processes after Siemens [1].

Hybrid machining processes contribute to the resulting effect exceeding the sum of the individual effects of component processes performed separately. Therefore, a real possibility to optimize the whole technological sequence occurs.

Hybrid manufacturing can cover not only normal machining processes but also include the machining processes in micro- and nanoscale.

Rapid development of hybrid processes and manufacturing platforms consisting of multi-axis CNC machine tools and AM modules is observed.

References:

1. Lauwers B., Klocke F., Klink A., Tekkaya A.E., Neugebauer R. and McIntosh D., *Hybrid processes in manufacturing, CIRP Annals-Manuf. Technol.*, 63(2), 2014. -561p.
2. Grzesik W.: *Hybrid additive and subtractive manufacturing processes: a review, J. Mach. Eng.*, 18, 2018. - 5 p.



COMPUTER MODELING OF DYNAMICS OF ROPE TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Volodymyr Heletiy, PhD, Associate Professor, Olena Lanets, PhD.

Lviv Polytechnic National University

Mechanical systems with rope elements, such as rope carriage systems, receive significant dynamic loads that significantly affect the quality of the basic functions of such systems.

Dynamic discrete model of logging wire rope carriage system for transportation of wood in mountainous conditions is considered (Fig. 1).

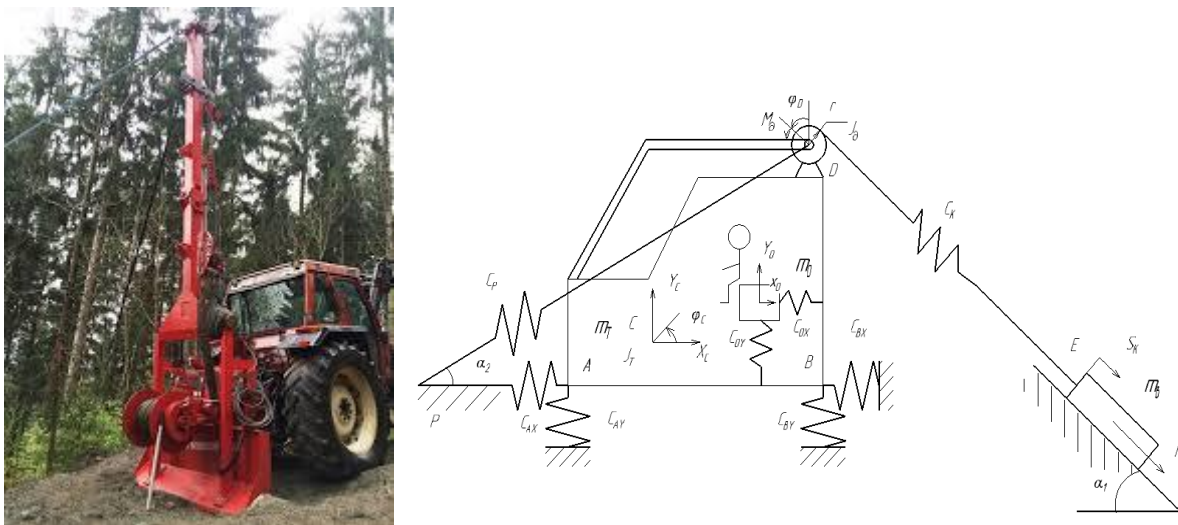


Fig. 1. Wire rope carriage system for transportation of wood in mountainous conditions

Ropes are considered as flexible threads that work only for tension. It is admitted that the stretching effort along the length of the rope is constant, and the nodes change only direction. Displacements the nodes causes corresponding changes in the lengths of the rope sections.

In some cases oscillatory processes (vibration) are used to increase the efficiency of technological operations of individual elements. At the same time, oscillatory processes of other elements of the system, such as the operator's place, need to be minimized.

Solving such problems requires the development of adequate dynamic models of such systems. It is important to determine the elements of the inertial and quasi-elastic coefficients and generalized forces matrices and to solve the problem to the developed numerical methods of analysis of small oscillations. The procedure for the exclusion of quasicyclic coordinates is proposed, which facilitates the application of computer methods for determining the eigenfrequencies and forms of oscillation and solving other problems of the dynamics of such systems. The estimation of the error



of using traditional simplified approaches in comparison with the exact solution is given.

Nonlinear dissipation of structural damping is represented by viscous frictions based on the equivalence of dissipation energy. An approximate method for determining the damping coefficients as diagonal elements of the dissipation matrix in normal coordinates is presented in the paper. It is shown its efficacy in the process of dynamic calculation of the system by the method of normal coordinates with the help of the proposed computer programs. The developed mathematical models allow solving problems concerning optimum position of damper, providing maximum damping of vibrations.

It is suggested to use additional devices for activating parametric oscillations to provide greater efficiency of transportation by cable systems and to develop mathematical models of such processes.

One of the suggested variants of eccentric vibration activator is shown in Fig. 2. It includes the end block of the rope system with diameter D , a piece of toothed transmission and eccentric fastened traction rope, which moves the load mass m .

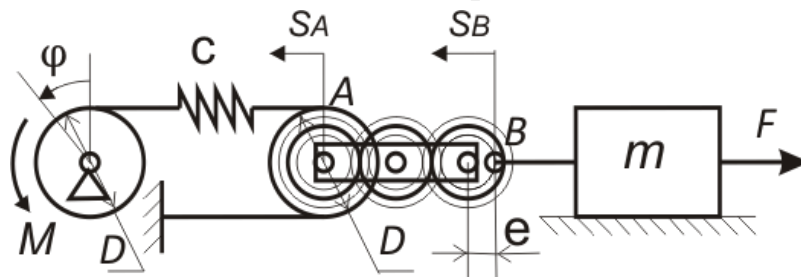


Fig. 2. Rope system with eccentric vibration activator

Kinematic vibration is ensured by the difference of displacement point A and B

$$SB - SA = e \cdot \cos (SA/D \cdot i),$$

where i is the gear ratio, e – eccentricity, D – block diameter, which affects the frequency of kinematic vibration.

Accepting the generalized coordinates of the cable mechanical system (Fig. 2) The angle of rotation of the winch drum φ and displacement of cargo SB will receive the expression of potential energy deformation of the rope rigidity c

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

After the substitution in the equation of the Lagrange of the 2nd kind we obtain the differential equations of movement of the system, the analysis of the solution which allows estimate the efficiency of the activator vibration.

Reference

1. Heletiy V. Development of dynamic models of mechanical systems with cable elements / Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. «Dynamics, durability and designing of machines and devices» 20 16 № 838, pp. 23-28 (Ukraine)



RESEARCH OF RADIALLY-CIRCULAR GENERATING METHOD OF GEARS CUTTING USING A SOLIDWORKS PROGRAM

Hrytsai I., D.Sc. prof., Zinchenko D., M.Sc.

Lviv Polytechnic National University

Gears and gear drives belong to the most common parts of modern machines that produced of large amount. However, due of the teeth crown, they are considered to be parts of increased complexity.

The hobbing is main method of spur and helical gears cutting. The hobs are among the most complicated by a shape and the most expensive cutting tools used in mechanical manufacturing presently. Herewith the hob milling operations are of a restricted productivity compared to the remained of a manufacturing operations. This cause why by 50% of the total amount of machine tools in the machine-cutting equipment park are the hobbing machining tools.

However, for today it's known another method of external tooth manufacturing, using the simplest cutting tool as thin disk-type milling cutter – radially-circular generating method (RCG-M). Its specificity is an eccentricity of the milling cutter mounting, while the process is carried out on the hobbing machine tool as well as in conventional hobbing process [1,2].

The objective presented in this paper is to compare of the process parameters of two mentioned methods when machining gears under the same initial conditions. The investigations have shown the following.

1. The cost of a disk-milling cutter is much less comparing of a hob's one. In addition, the eccentricity at the RCG-method can be varied smoothly over a wide range, that is adequate by changing the amount of module. Thus one single milling cutter, can replace 4-5 hobs of different modules.

Taking into account that at the price of gears, almost half of the costs are spent for a tools, this makes RCG-method ten times less expensive, and the cost of gears cutted by a disc miller will be 30-50% less.

2. For quantitatively study of gearing process, numerical models to simulate the spatial undeformed chips geometry and other process parameters of the RCG-method have been established. Shape of chips, as well as its cross section parameters, in successive gaps generating, continuously change and contain key information about this complicated process.

For this goal, the algorithm to reproduce the kinematics of the tooth cutting process in the RCG-method has been developed using SOLID WORKS system. According Due to this algorithm, graphical constructions of splines were performed, which reproduced the formation of 3D shape of undeformed chips on all the successive teeth of the tool.



The composition of the splines in each discrete position of the tool and the workpiece in angular positions, relevant to angles of profiling $\psi = \frac{360}{Z_g \cdot Z_{d_m}}$ allows to decompose complex RCGM kinematics into elementary components and eventually to calculate the required parameters of three-dimensional chips.

At the same time, with the help of system of computer-aided rheological modeling Deform 2 the shear strain in form of the shear strain ratio was identified [3]. The combination the solid geometrical data of cutting layers and the results of rheological modeling allowed the thrust force in the RCG-method as a spatial force field determine (Fig); $P = [\tau] \cdot \xi \cdot S$, where $[\tau]$ – work gear material shear stress limit, MPa; S – chip cross section, mm^2 ; ξ - shear strain (cutting) ratio.

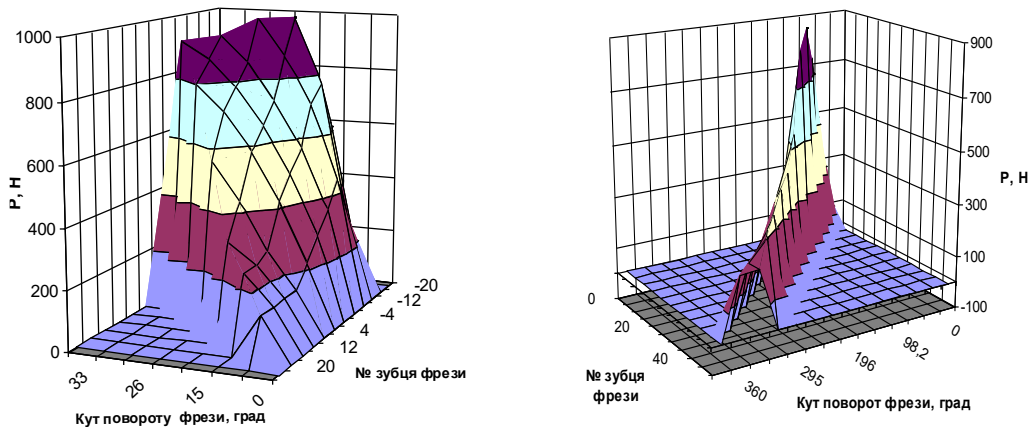


Fig. Spatial force field of hobbing (a) and RCG processes

Investigation have shown when equal cutting force, the shear strain ratio while the disc mill gearing ($\xi = 1.4$) is 35% less compared of the hobbing ($\xi = 2.15$) due to the greater chip thickness and consequently the axial feed by 40% higher (respectively, 3 mm / rev and 5 mm / rev). This indicates a reduction of duration and, in general, a significant increase in the efficiency of the RCG gearing method.

References

1. Hrytsai. Gears with the asymmetric tooth profiles and a new alternative method of its manufacturing // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. - 2017. - Volume 3, Number 2. - pp. 32-37.
2. Hrytsay, J.Lytvyniak. Pidvyshchennya tekhniko-ekonomichnoyi efektyvnosti protsesiv vyrobnytstva zubchastykh kolis poyednanniam tradytsiynykh ta novykh sposobiv formoutvorenniya. [Tekst] // *Visnyk Natsional'noho universytetu «Kharkivskyy politekhnichnyy instytut»*. Zbirnyk naukovykh prats. - № 26.- Kharkiv. Vyd-vo NTU "KHPI".- 2010.- S.30-35.
3. Hrytsay I. Doslidzhennya sinusoidalnykh zubchastykh peredach / I..Hrytsay, V.Stupnytskyy // *Pidymno-transportna tekhnika* – 2007. №4(24). – S.55-64.



INTELLIGENT MACHINE TOOL DESIGN APPROACH AND LIMITATIONS

Jedrzejewski Jerzy, Professor, Kwasny Wojciech, PhD

Wroclaw University of Science and Technology, "Department of Machine Tools and Mechanical Technologies", Wroclaw, Poland

Today the increasingly high operational performance of machine tools leads to much higher automation, precision, dynamics, energy saving and functional integration with the manufacturing environment, consistently with the idea of Factory 4.0.

In order to holistically meet such high demands, the machine functions and the process layout need to be managed in an optimal way. The simple control strategies and procedures must be replaced with intelligent functions based on robust mechanical, mechatronic and machining functions, requiring a highly autonomous and efficient IT software support. It is expected that the robust self-recognition of machine tool and process distortions and errors, the active reduction and compensation of errors and the active optimization of the process with regard to time, energy consumption and cost reduction will become reality. The general machine tool development components and levels are presented in Fig. 1 (Jedrzejewski and Kwasny [1]).

The figure shows how the operational efficiency of machine tools, resulting from the development of design and control, influences the levels of machine system development, with knowledge acquisition and dissemination leading towards holistic improvement. This development at present is based on modelling and numerical simulation aimed at defining intelligent and totally autonomous functions with robust monitoring. Fundamental for such intelligent machine tool design is precise tool path generation free from errors, and a digital twin for real machine tool control (see Fig. 2). Because of the complexity of the recognition of machine tool disturbances, the reduction of errors and efficient compensation they need to be supported by a holistic approach in order to define appropriate correcting functions, taking into account time-variable volumetric errors and process

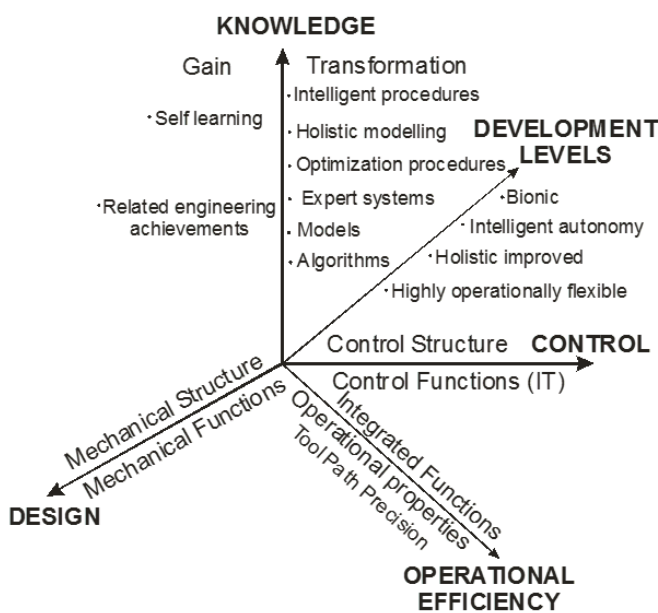


Fig. 1. Machine tool development main components and levels



parameters, to define the optimal technology for designing tool path modules and to assure high machining performance.

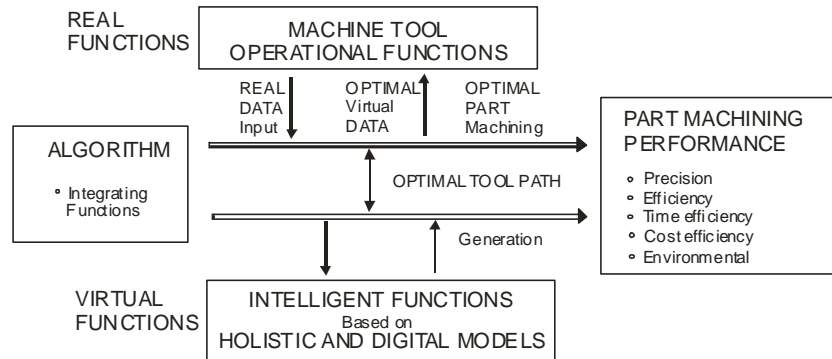


Fig. 2. Digital Twin based intelligent control of real machine tool functions.

According to the holistic approach, tool path generation must take into consideration not only static geometry errors, but also complex thermal errors caused by changes in ambient temperature and by dynamically changing (stationary and moving) internal heat sources, as well the forces affecting the positioning precision of the moving units (headstocks, tables and heads) in real-time. Errors originating from spindle shift as the speed changes, from the direct drives of motors and from the moving nut in the ball screw unit during fast work cycles and roundness errors in the turning process, which are very difficult to control, must also be taken into account and reduced. Current research is strongly focused on the generation of precise virtual tool path components and functions and on optimal design based on holistic modelling and intelligent control. Such a set of general virtual models is shown in Fig. 3.

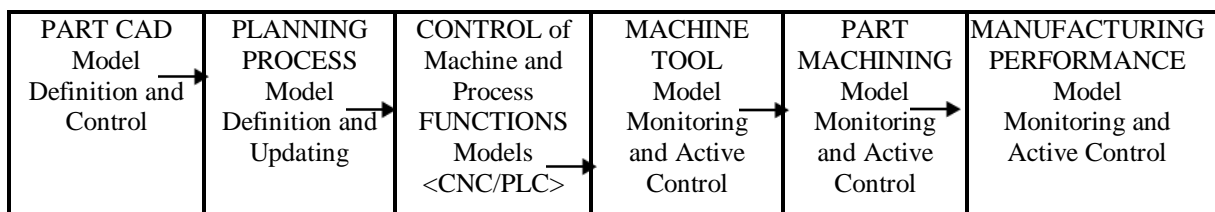


Fig. 3. Virtual tool path functions models and components.

Using the models, in order to generate an error-free tool path in real-time, an efficient error compensation procedure should be selected and applied according to:

- controller standard openness procedures for typical errors,
- process planning in real-time with adaptive error compensation,
- error compensation implementation in the tool path through an interpolator on the basis of a prognosis considering the existing limitations,
- active G-code correction,



- the holistic management of tool path generation, neglecting the-G function, and basing the postprocessing on a very fast processor.

The new possibilities for designing intelligent machine tools with optimal real-time tool path generation open the way for the application of the new STP NC standard. This standard manages complexity, especially the complexity of the tool path components from CAD to the process in real-time (Fig. 4).

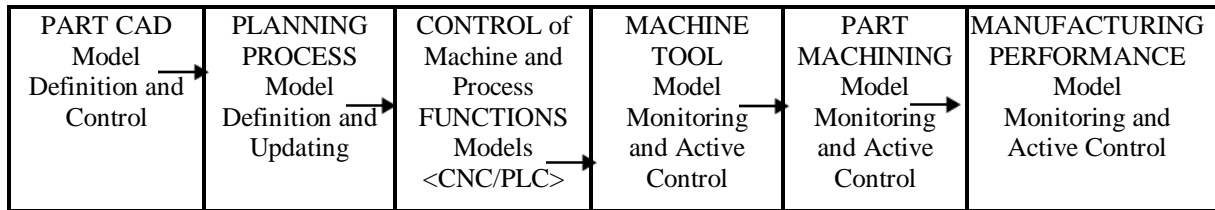


Fig. 4. Machining errors intelligent management structure and its components.

According to Hardwick [2], such a control concept opens up new possibilities for the realization of machine tool intelligence (Fig. 5). According to Languione et al. [3], the next step leads to the efficient control of the multiprocess chain in an intelligent machining/production system with total monitoring. Moreover, according to the idea proposed by Denkena et al. [4], such a total monitoring system should be based on microsensors integrated with signal processing microunits embedded in machine components. Another very interesting intelligent CNC machine tool design solution in dental prosthetics machining, based on the Digital Copy Milling concept with adaptive feed control and cutting force prediction, was developed by Nishida et al. [5] and proved effective in production conditions.

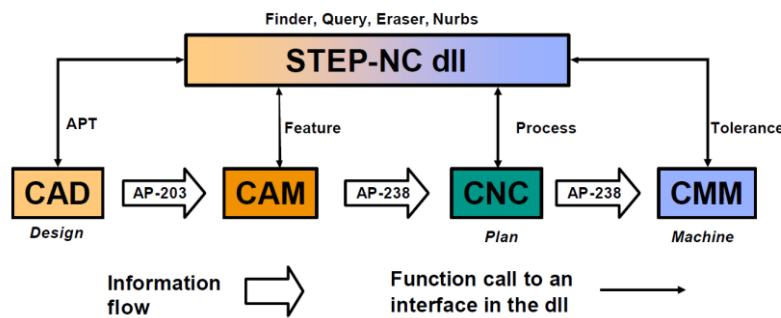


Fig. 5. Functionality of STEP-NC DLL (Hardwick 2006).

Summing up the discussion of the current development of machine tools, one can say that the design of machine tools and production processes is becoming increasingly more intelligent and autonomous.



References:

1. Jedrzejewski, J., Kwasny, W., 2017. Development of machine tools design and operational properties. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 93(1-4), 1051–1068.
2. Hardwick, M., 2006. *Manufacturing Integration Using the STEP-NC DLL 1-14*.
3. Laguionie, R., Rauch, M., Hascoet, J-Y., 2009. Simulation and optimization in a multi-process environment using STEP-NC. 2009 IEEE International Conference on Control and Automation, Christchurch, New Zealand, December, 9-11.
4. Denkena, B., Litwinski, M.L., Boujnah, H., 2014. Process monitoring with a force sensitive axis-slide for machine tools. *Procedia Technology* 15, 416–423.
5. Nishida, I., Tsuyama, R., Shirase, K., Onishi, M., Koarashi, K., 2019. Development of Innovative Intelligent Machine Tool Based on CAM-CNC Integration Concept – Adaptive Control Based on Predicted Cutting Force. *Int. J. of Automation Technol.* 13(3): 373–381.

RESEARCH OF THE FINISHING AND STRENGTHENING TECHNOLOGICAL OPERATIONS BY USING SADT-TECHNOLOGIES

¹Kusyi Y.M., *PhD, associate professor*, ²Lychak O. V., *PhD., senior researcher*,
³Radu S.-M., *Ph.D.Eng, professor*, ³Moraru R., *Ph.D. Habil. Eng, professor*,
⁴Kojić D., *PhD, associate professor*

¹ National University “Lviv Polytechnic”,

²Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

³UNIVERSITY OF PETROSANI

⁴UNIVERSITY PIM (Banja Luka)

The priority function of technological process design (TP) at the stage of technological preparation of production is the rationality of selection of process (or set of processes), which is achieved through the systematic design. The technical requirements should be providing both: for the individual elements of the technological environment in the development of new technological processes, and for the whole complex system "control system - technological environment" during the improvement of existing technologies. This allows to optimal realizing the technical and economic indicators for a given class of TP [1].

The technology is crucial in the formation of quality parameters of parts. Each technological operation in the structure of the technological process has an impact on the formation of the properties of the final product, given by technological inheritance. Each technological operation has an influence on the formation of the properties of the final product in the structure of the technological process, which is determined by technological inheritance. The design of multifactor technological operations, optimized for a large numbers of parameters of accuracy and surface quality should be carried out by means of SADT-Structured Analysis and Design Technique [2].

Technological operations for finishing and reinforcing, in particular surface-plastic deformations (PDD) for ensuring the quality of products has a priority task.



The peculiarity of SPD methods is to preserve the accuracy of the dimensions, achieved on the previous operation. Therefore, the use of SPD methods for finishing and reinforcing technological operations allows us to focus on the study of the quality parameters of the surface layer of products [1]. Therefore, methods of SPD on finishing and strengthening technological operations ensure formation of quality parameters of the surface layer of parts [1]. Technological operations of finishing and strengthening, which are realized by means of SPD methods, allow minimizing the influence of technological inheritance on the formation of endpoints parameters of the product.

The method of vibration-centrifugal hardening (VCH), developed at National University “Lviv Polytechnic”, refers to the methods of dynamic hardening. It is used to provide the performance of different kinds of parts. Providing of the required level of deformation energy, compactness and versatility of reinforcing devices, productivity, and the possibility of qualitative processing of internal surfaces of parts are the advantages of this method. It is an important feature that the VCH process of hardening does not require additional margins for treatment. The method of the VCH is used for the SPD treatment of parts from different materials. The VCH is also effective for hardening of parts subjected to alternating cyclic loads [1].

When using structural analysis [2] for the study of the final operations, implemented by the method of VCH, for detailing on the SADT-diagram (Fig. 1) of the technological operation it is necessary to separate the groups of physical, mechanical and geometric parameters of parts (Fig. 2).

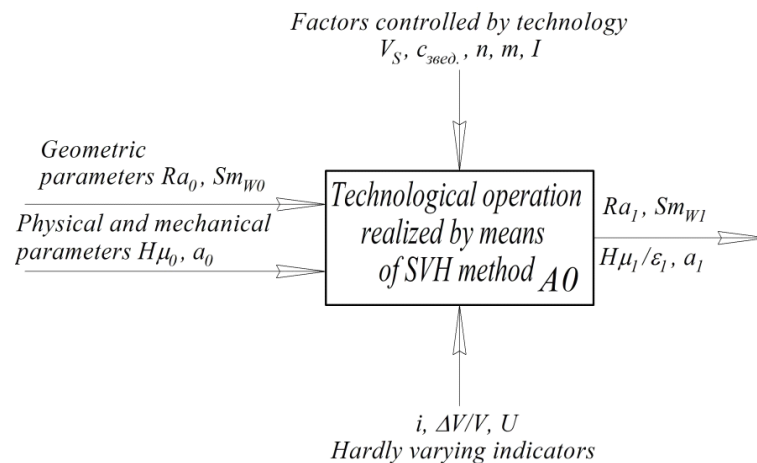


Fig. 1. The primary model of the operation of the vibrational-centrifugal hardening

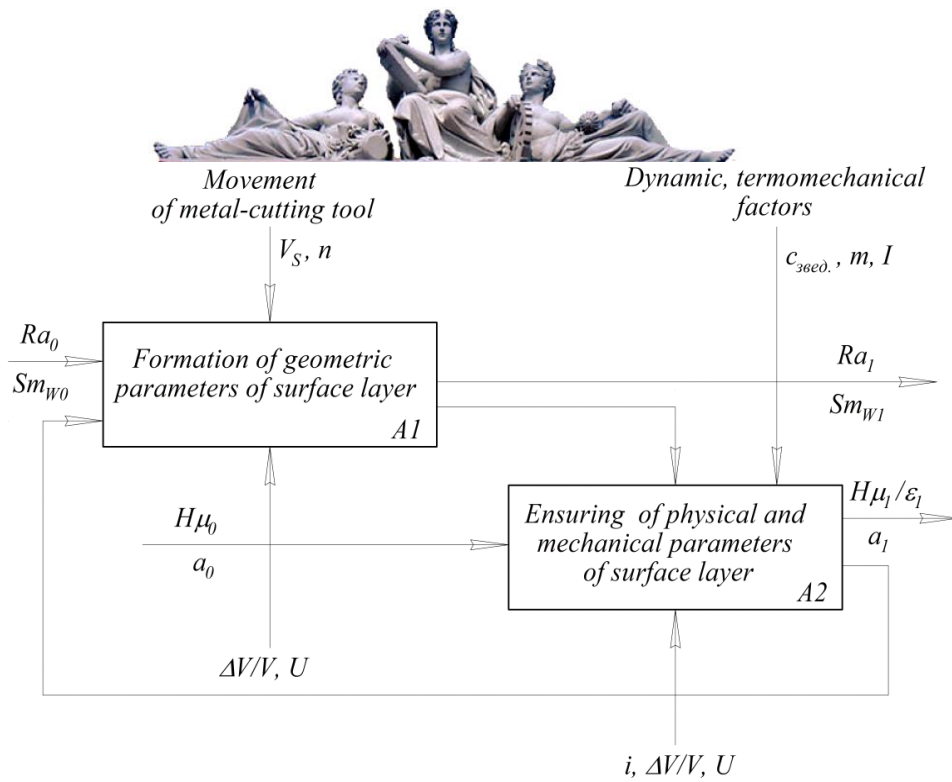


Fig. 2. The concept model of operation of vibration-centrifugal hardening.

Factors, affecting the changes in the physical and mechanical parameters of the surface of the product (the thickness of the hardened layer a and the degree of cold-hardening), are reduced rigidity of the sections of elastic systems $c_{comb.}$, the mass of the working bodies of the device $m_{2(4)}$, the feed rate n , the current in the coils of electromagnets tool I , (Figs. 1, 2).

To determine the physico-mechanical quality parameters of the surface layer of the material cylindrical product samples were prepared according to the standard method [1]. Samples according to the standard method were prepared for determination of physical-mechanical parameters of quality of the surface layer of the material of the cylindrical product [1]. The thickness of the hardened layer on the finished samples was estimated by means of evaluation of the distribution of micro hardness parameter $H\mu$ in the surface layer. It was measured by means of the ПМТ-3 device in accordance with [1].

The degree of the cold-hardening was determined as it follows from [1]:

$$\varepsilon = (H\mu_{surf.} - H\mu_{in.}) \cdot 100 / H\mu_{in.} [\%],$$

where $H\mu_{surf.}$ - micro hardness of the hardened material surface; $H\mu_{in.}$ - micro hardness of the material before processing.

To obtain the specified physical and mechanical parameters $Y_1 = a$ and $Y_2 =$, dynamic and thermo mechanical parameters $X_2 = c_{36ed}$, $X_4 = m$, $X_5 = I$ (Fig. 3) have the most significant influence.

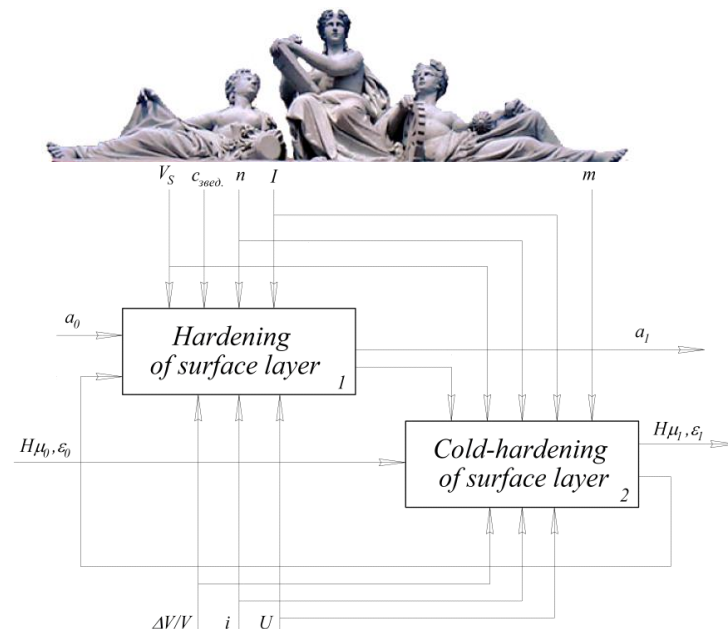


Fig. 3. Decomposition of the unit for formation of physical-mechanical parameters of the surface layer of the material

Relations $a=f(V_S, c_{звезд.}, n, m, I)$, $=f(V_S, c_{звезд.}, n, m, I)$ between physical-mechanical parameters of the surface of material and technological modes of treatment of parts were obtained by applying a fractional factor experiment 2^{5-2} and processing of the experimental data in accordance to [3].

Literature

1. Кусий, Я. М. Технологічне забезпечення фізико-механічних параметрів поверхневих шарів металевих довгомірних циліндричних деталей вібраційно-відцентровим зміцненням: дис... канд. техн. наук / Я. М. Кусий. – Львів, 2002. – 260 с.
2. William S. Davis Tools and Techniques for Structured Systems Analysis and Design. Addison-Wesley, 1992. – 187 p.
3. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1982 – 173 с.

FINITE ELEMENT SIMULATIONS OF RUBBER SEALS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Nycz D.B, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor
 The Jan Grodek State University in Sanok, Poland
 CADM Automotive Sp. z o.o., Cracow, Poland

Rubber profiles are used as weatherstrip in doors, windows and trunks in the automotive industry [3]. Apart from keeping rain water and dust from entering the vehicle cabin (sealing), rubber profiles have also an effect onto noise control, vibration control and decorative trim [3].

In the process of construction of rubber profiles, numerical calculations using the Finite Element Method are very important. The use of nonlinear analysis software, such as MSC.Marc/Mentat, allows to speed up the design process and fully



optimize rubber profiles in terms of the requirements [1].

The paper presents some aspects and problems regarding construction of car rubber seal profiles. For modelling rubber materials, formulation based on strain energy density function was used. Assuming incompressible isotropic material [2]:

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 \quad (1)$$

the strain energy density function takes the form [2]:

$$W = \sum_{i,j=0}^n C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (2)$$

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, \quad I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad (3)$$

$$\lambda_k = 1 + \varepsilon_k, \quad k = 1, 2, 3 \quad (4)$$

where:

n – polynomial degree

C_{ij} – constants

I_1, I_2 – invariants of deformation state

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – stretch ratios

For modeling solid rubber materials, the most often used model is the Mooney-Rivlin model, which reproduces correctly the stress-strain curves [2]:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_2 - 3)^2 + C_{02}(I_2 - 3) \quad (5)$$

For modelling sponge rubber materials, the most often used model is the Ogden model [2]:

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} [\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n}] + 4.5K \left(J^{\frac{1}{3}} - 1 \right)^2 \quad (6)$$

where:

α_n, μ_n – constants

K – bulk modulus

J – compressibility

$$J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \quad (7)$$

Figure 1 presents an example of car door seal cross-section. For such rubber seal profiles, the following are important [1]:

- 1) bubble deformation (crush) force through the door at the nominal position and 2 mm more deformation (Fig. 2),
- 2) flange slip-on and remove forces for a different flanges thicknesses and two seals configurations: a hammer montage and a roll forming (Fig. 3).

In the case of bubble deformation, the required value of crushing force is obtained by appropriate shaping and thickness change of the bubble. In the case of flange slip-on and remove, the required values of forces for the minimum and maximum flange



thicknesses are obtained by the proper shaping of the lips.

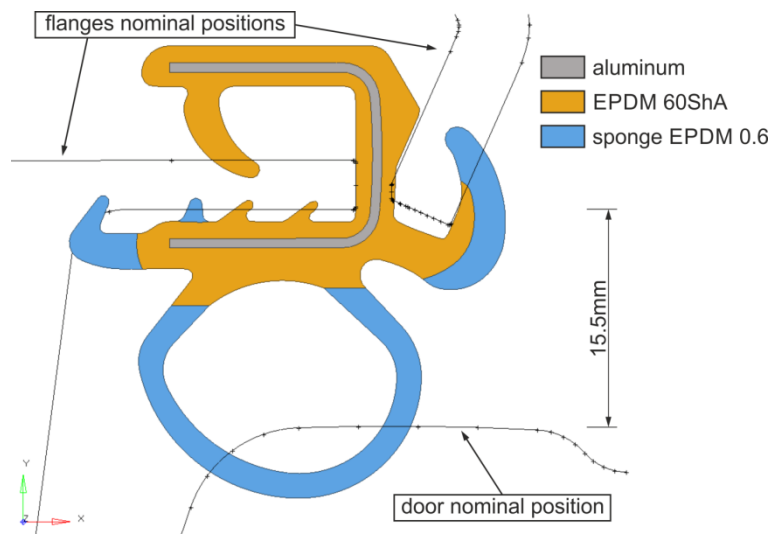


Fig. 1. Example of car seal profile cross-section.

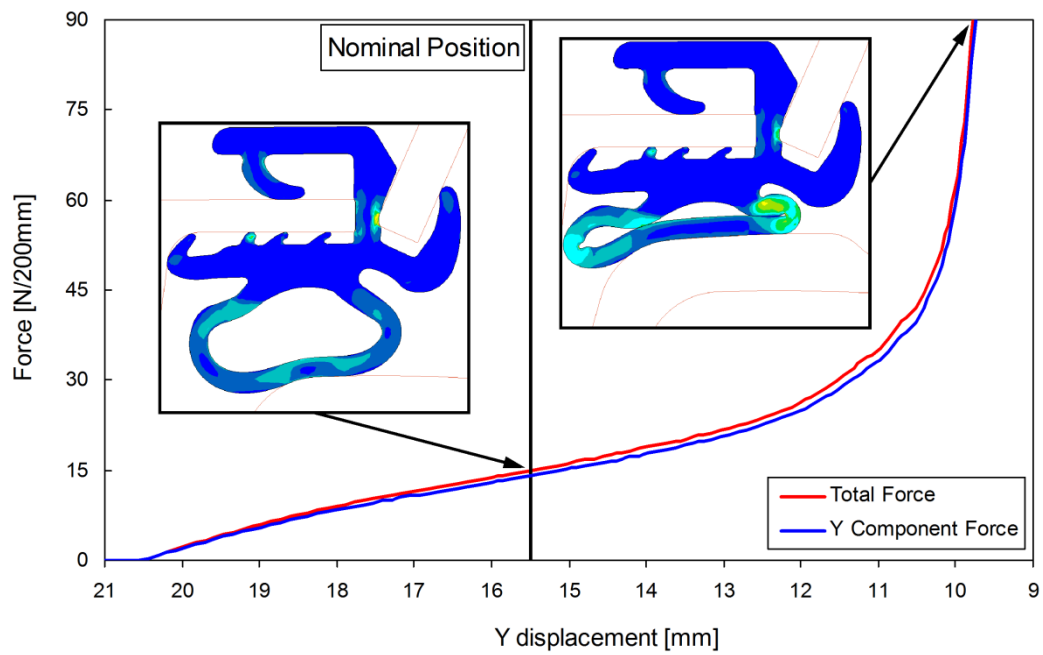


Fig. 2. Example of crush force plot for bubble deformation.

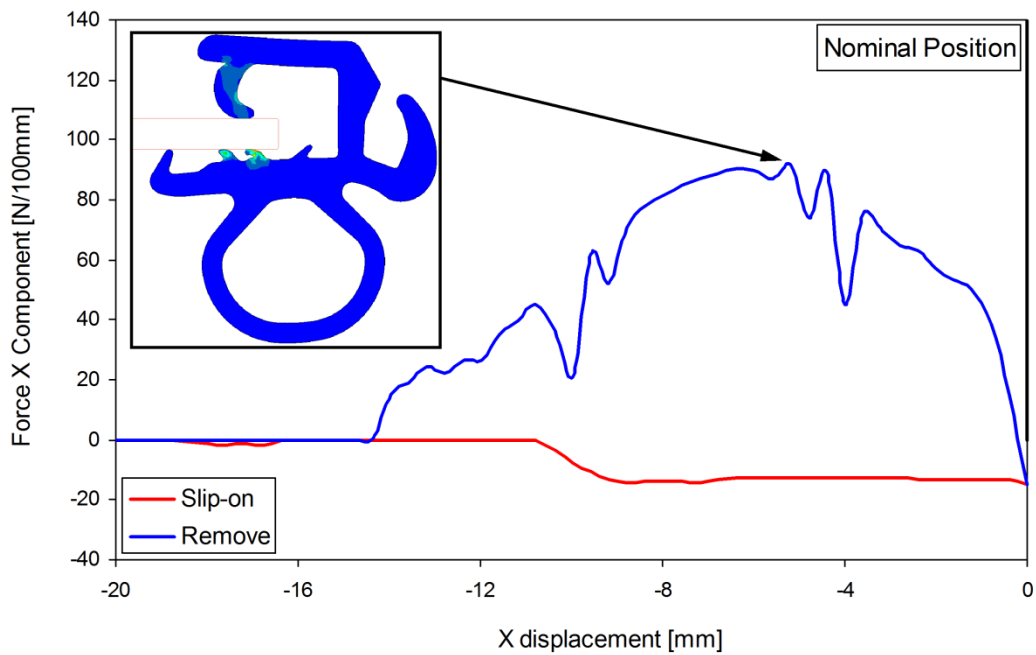


Fig. 3. Example of flange slip-on and remove force plot.

References:

1. Ordieres-Meré J., Muñoz-Munilla V., Bello-Garcia A. and González-Marcos A.: A simulation method to estimate closing forces in car-sealing rubber elements, *Int. J. Vehicle design*, (2012), Vol. 59, No. 4, pp.249-271.
2. MSC.Software Volume A: Theory and user information. Technical Paper. vola.pdf
3. Rubber profiles, <http://malcorp.net/our-products/rubber-profiles/>, accessed 02.12.2019



THE PREVENT OF THE LOSS OF WASHING FLUID IN THE DRILLING PROCESS THANKS TO REDUCING THE GAP OF THE TOOL JOINT TAPERED THREAD TO EFFECTIVELY

¹Onysko Oleh, ¹Borushchak Lubomyr, ²Tkachuk Valentyna, ³Cristian Barz

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of oil and gas

²Lutsk National Technical University

³Technical University of Cluj-Napoca - North University Centre of Baia Mare

The elements of a drill string are connected by special devices called tool joint. One of the functions of the tool joint is to prevent the loss of the washing fluid, which is fed to the bottom of the drill string at a pressure of 2–26 MPa. During operation, up to 30% of the drilling pump energy losses are appear due to the thread gaps [1]. The design of the tool joint tapered thread provides a significant structural gap between the root of the pin and the crest of the box and vice versa [2].

The gap is shown in figure 7. It is denoted by the number 3 and occurs in a screwed form between the thread surfaces of the box 1 and the pin 2. If the end face of the 4 box and the end face of the 5 nipple are nontightly adjacent to each other, then the specified coupling connection will skip the drilling solution from the inside of the drill string into the outside of the tube space, that is, into the drilled well.

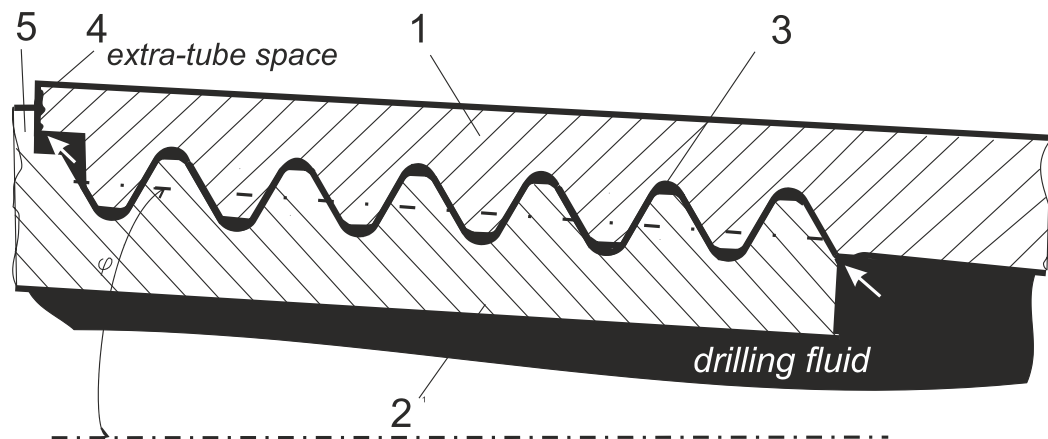


Fig. 1. Existence of the technological gap between the nipple and the box in the drill string connection

This gap has the form of a screw, and in cross section its height reaches according to standard API7 - 0,43 mm. Computer studies based on the application of the Float Simulation application show a rather small pressure drop along the helical line of this gap. If the cross section of the screw channel is reduced so that the height does not exceed 0.15 mm, it will lead to significant changes in the pressure distribution in the screw gap [2] in the case of the initial stage of loss of tightness in the drill string tool joint. If at the beginning of it (look at fig 2, cross section III), that is, inside the drill pipe, the pressure is 20 MPa, then at the level of the first turn of the



box thread (look at fig 2, cross section II) it may be less than 1 MPa [2].

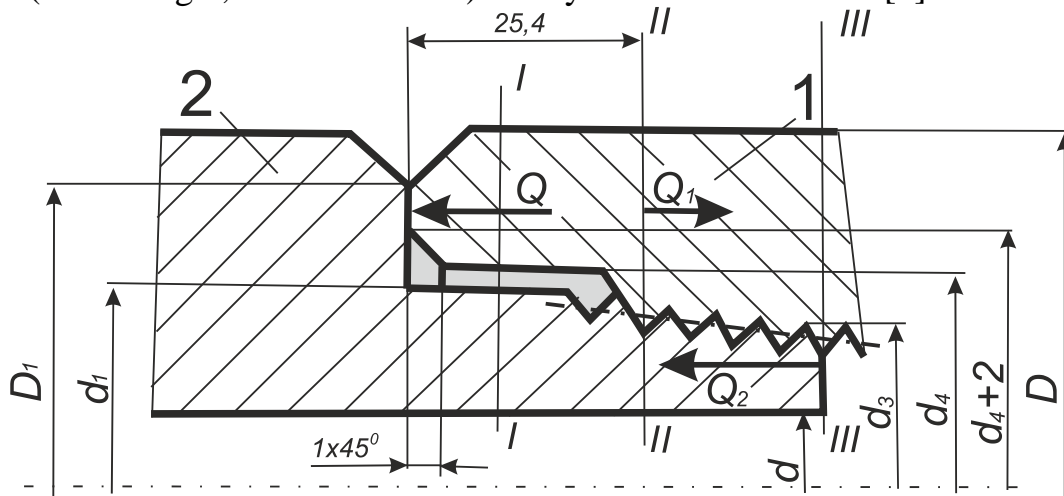


Fig 2. Scheme of the distribution of the clamping force components in the screwed state of the drill tool joint

As a rule, when the signs of initial depressurization appear for drill pipes connecting the more torque is used. This leads to a further effect on the end surfaces of the tool joint and plastic deformation on ones. This deformation causes the transition to a further stage of depressurization and the corresponding need to apply even more tightening torque. This may occur as long as the yield strength of the drill pipe material allow. In the case of applying a screw gap height of 0.15 mm, force Q_1 (cross section II) opposing the clamping force Q of the box and the pin in (cross section I) is minimal due to the reduction of pressure from 20 to 1 Mpa. this eliminates the need for additional pressure between the end surfaces of the of the pin and the box, and thus eliminates the problem of increasing the plastic deformation of the contact surfaces and further depressurization.

References:

1. Chudyk I.I. Do vtrat hidravlichnoi enerhii pid chas promyvannia sverdlovyny. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch.* – 2009.– №2(31).– S34-42.
2. Borushchak L., Borushchak S., Onysko O. Influence of the technological gap value of the tool-joint tapered thread on the drilling mud flow rate in its screw coupling. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science.*–2017.–Volume 3.–№2.P. 24–31



COMPARISON OF HCR GEARS COATED BY PVD COATING AlCrN WITH NON-COATED HCR GEARS LUBRICATED BY BIO-FRIENDLY LUBRICANT

¹Rusnák J., CsC, Professor, ¹Kadnár M., PhD, Assistant professor, ¹Tóth F., PhD, ²Bošanský M., CsC, Professor

¹ Faculty of Engineering, Department of Machine Design, Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia

² Institute of Transport Technology and Designing, Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovakia,

The submitted scientific article deals with application PVD coating AlCrN on HCR gears in conditions lubricated by eco-friendly lubricant and with the comparison of coated and non-coated HCR gears. HCR gears were made from material 16MnCr5. As lubrication environment was chosen eco-friendly lubricant OMV Biogear S150. Experimental tests were performed on the Niemann M01 FZG testing rig. In the experiment, we followed standard STN 65 6280. After each load level were measured values of the maximum height of the assessed profile Rz for tip and reference diameters. Results of experimental tests were statistically processed and on a basis on them were established relations between the maximum height of the assessed profile Rz and load level.

SIMULATION AND ANALYSIS OF CUTTING MECHANISMS WHEN MACHINING TITANIUM ALLOYS

She Xianning, Stupnytskyy V, D.Sc., Prof.
Lviv Polytechnic National University

Titanium alloys are characterized by high specific strength (the ratio of strength to density reaches 30-35 or more), which is almost twice the specific strength of the most common doped steels in mechanical engineering. In addition, titanium alloys are superior in strength to high-strength alloys of aluminium and magnesium at high temperatures. Thus, titanium alloys are the main material for the products of modern aircraft, rocket engineering and military-industrial complex. Increased corrosion resistance causes the use of titanium and its alloys in chemical, energy engineering, medical equipment and other fields. Currently, the aerospace industry uses 41% of titanium, including 33% in the civilian industry and 8% in the military industry; 47% in the chemical industry and energy industry; and 12% in other areas (sports goods - 8%, armor - 2%, etc.). In the United States, 45% of titanium is used in civil aircraft, 15% in military aviation and space, and 40% in other industries, including chemical, oil and gas, shipbuilding, and medicine.



Due to the high ratio of the fluidity limit to temporary break resistance, titanium alloys are hard-to-treat materials. For example, this ratio for titanium alloys is between 0.85-0.95, and for steels it is only 0.65-0.75. At the same time, the mechanical characteristics of titanium alloys in comparison with heat-resistant steels are significantly less. The low plastic properties of titanium alloys in the process of their mechanical processing contribute to the emergence of micro and macro fractures in front of the instrument blade. The chip making of titanium alloys has defects of cyclical form, which divide it into very slightly deformed elements, connected by a thin and strongly deformed contact layer. Thus, the mechanical processing of titanium alloys causes large unit loads, which predetermines the presence of high temperatures in the cutting zone due to the low thermal conductivity of compacted zones in the shaving area. As a result of strong adhesion and high temperatures, the processed material sticks to the cutting tool, and this contributes to a large increase in friction. The sticking of titanium on the contact surfaces of the cutting tool also leads to a change in its kinematic and microgeometry parameters.

The complexity of titanium alloys machining is 3-4 times higher than for carbon steels and 5-7 times higher than for aluminum alloys. The ratio of the relative processing of Titanium alloys Ti-6Al-4V in relation to steel 45 is 0.22-0.26. When mechanically processing preparations from titanium alloys, it is recommended to use small cutting speeds in small feeds with intensive supply of lubricating and cooling liquid.

For knowledge-intensive engineering, an important step in its technological preparation is to study the process of cutting hard-to-process materials under conditions for which technological systems or their elements are only created. For example, they study cutting tools from new tool's materials, with new coatings and with new geometry of the blade, Nano-processing and the like. These tasks can be solved by simulating cutting processes. Existing mathematical models of mechanical processes require data on the form of chips, the distribution structure of contact stresses, the average friction factor, etc. Such data can be obtained using complex experimental studies that require considerable time and material costs and are often impossible. A more effective method of research is to create simulation models of cutting processes. Therefore, it is important to study the power, deformation and thermal processes of formation, the use of adequate criteria of deformation and destruction to describe the behavior of metals during chip forming; accounting for the actual condition of the tool's contact surfaces, the conditions of the chip formation, etc.

Studies carried out in the field of cutting dynamics can be carried out by two methods:

- analytical analysis of the cutting pattern based on the study of the destruction process as a partial case of the plastic deformation process;
- rheological simulation of the stress-strain and thermal state of the workpiece using the finite element analyze methods.



The most promising are cutting process models based on numerical methods, which make it possible to solve the problem of deformation and destruction of the cut layer based on the fundamental equations of the thermodynamics. One such method is the finite element analysis. Taking into account the above, the software DEFORM implemented models of various processes of cutting steels and alloys (including titanium). Techniques have been developed to calculate the shape of chips, tense-deformed and thermodynamic state of the tool and blade, cutting force, etc. DEFORM - a specialized engineering software product developed by the American Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC), designed to analyze metal machining processes for pressure, thermal and mechanical processing.

Moreover, the simulation type of research is carried out not only for establish the adequacy of the theoretical foundations of forming the surfaces to be machined, but mainly for the effective study of the dynamic stress-strain state of the workpiece in different chip formation zones using the variable simulation data (tool geometry, materials, cutting parameters, etc.) for next applying in optimization models. These structural-parametric models can be used for effectively implementation a functionally-oriented technological process.

Studies of the impact of cutting parameters (depth, cutting speed and cutting-edge geometry) on power, stress-strain and thermodynamic states of workpiece's machined layer were carried out for titanium alloy. The following results were:

1. The machinability of the titanium alloys substantially depends on the cutting parameters. The main causes of low workability are high cutting temperature, saw-tooth type of chip (as a result of asynchronous change in longitudinal and transverse cutting forces), adiabatic chip formation, tool vibration, and intense tool wear.

2. The cutting depth (t) strongly affects the cutting force and chip thickness ratio. For example, varying the cutting depth from 1.0 mm to 2.5 mm increases the cutting force by about 2 times, and increases the thickness ratio by about 1.6 times. A special change in these parameters occurs if the cutting depth increases beyond 2 mm. However, changing the cutting depth does not significantly affect the effective stress and cutting temperature (increasing t by 7 times (from 0.5 mm to 3.5 mm) results in changing these parameters by 5-7% only).

3. The cutting speed (V) has the greatest effect on the frequency of change in the cutting load and chip thickness ratio. For example, the variation V of 50 to 200 m/s increases the period of variation of the cutting force by about 8 times (0.3 to 2.5 ms). This may be the cause of high frequency tool oscillation. However, the cutting force decreases significantly as the cutting speed increases. For example, a 4-fold change in V (50 to 200 m/min) results in a reduction in the cutting force on the 25% (3.2 kN to 2.4 kN). Effective stress and cutting temperature do not vary much (7-10%).

4. The geometry of the tool's cutting edge has a significant effect on the cutting load, chip thickness ratio and processing temperature. For example, changing the rake angle from 10° to (-5°) increases the average cutting force by about 80% (2 kN to 3.6 kN), increases the chip thickness ratio by 27% (1.8 to 2.3), and increases the



temperature by 32% (830°C to 1100°C). In addition, increasing the rake angle results in a large variation in the frequency of the cutting force, especially for a tool with a negative rake angle. However, changing the geometric parameters of the cutting edge has insignificant effect on the effective stress.

RESEARCH THE TENSIONAL STATE OF THREAD JOINTS DRILLING PIPES UNDER THE EXTERNAL LOADS

Vriukalo V.V., Ph.D., Associate Professor, Odosii Z.M., Ph.D., Professor, Shpytalnyi T.M.
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Drilling equipment breakage due to fatigue damage of rifle joints becomes the most common type of drilling accident. According to statistics, 80% of crashes with rifled joints are caused by fatigue failure. The reason for this is that in the process of drilling on the pipe column there are cyclic mechanical loads, the largest in amplitude of which (when drilling without rotating the column of pipes) is the axial force and forces that create bending moment in the intervals of curvature of the wellbore. The effect of these loads is accompanied by the accumulation of fatigue damage when the endurance limit is exceeded in the stress concentration zones.

The purpose of the study is to determine the stress state of the rifle connection "drill pipe - coupling" as a result of the efforts acting on this connection during the drilling process and to identify the zones of dangerous concentration of stresses.

The theoretical solution to this problem is practically impossible due to the complexity of the surface shapes of the parts that form the rifled joint. Therefore, numerical methods, including the finite element method [1], have now become essential in studies of the stress-strain state of machine parts and their joints.

For the purpose of research, a 3D model of the rifled connection of the drill pipe and couplings was created according to the geometric parameters of the parts and the grooves defined in GOST 631-75 "Drill pipes with landed ends and couplings thereto" for the pipe with a nominal diameter of 127 mm. In order to shorten the time and save computing resources, the model, given its symmetry, was half the coupling connected to the segment of the drill pipe. The symmetry of the loads applied to the model allows us to limit the calculation area to the part of the model that is cut by a plane that runs along the axis of the assembly (Fig. 1).

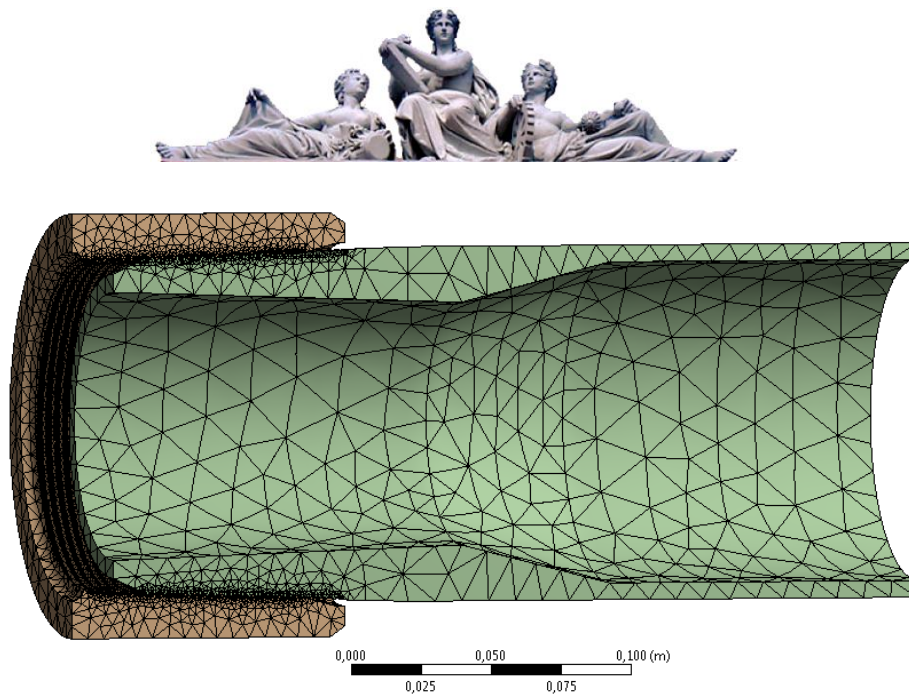


Fig. 1. Calculation model with finite element grid

Calculations were made for cases of joint loading with only axial force in the range of 50kN..300kN and loading with a combination of axial force (50kN..300kN) and bending moment (0.5 kN·m .. 20 kN·m).

The fields of distribution of equivalent and maximum stresses were obtained. Studies have shown that stress concentrations occur in and around non-joining turns. The magnitude of the stresses that occur in these areas significantly exceeds the stresses in other areas and reaches the limit values of the tensile strength (Fig. 2).

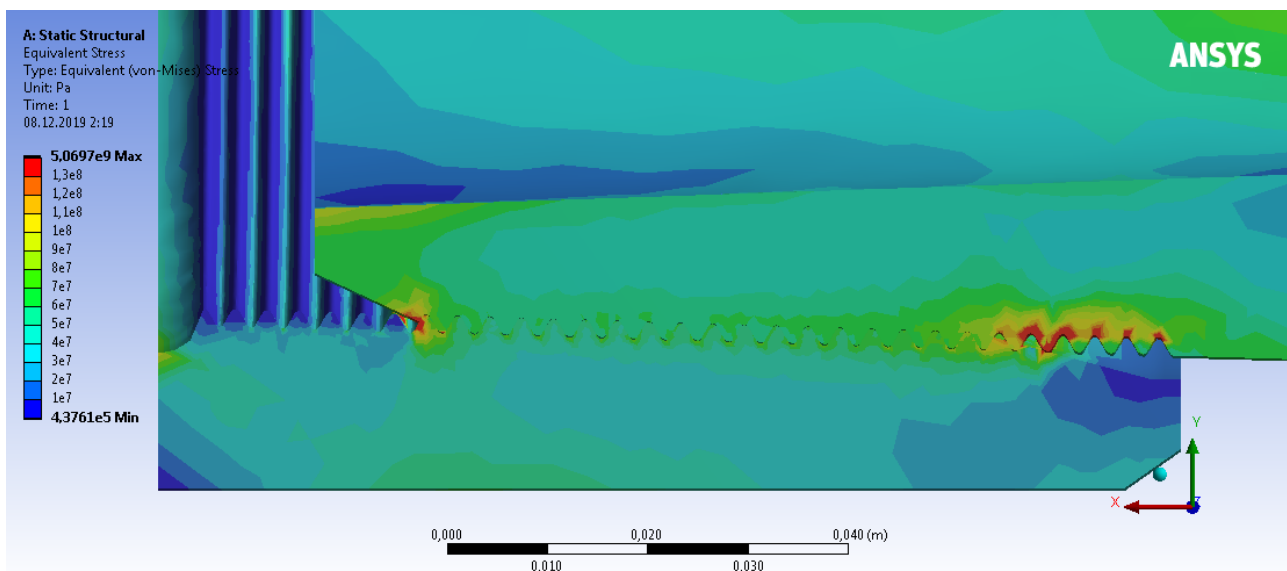


Fig. 2. Equivalent stresses in the rifled connection (axial force 300 kN, bending moment 1.5 kN·m)

Studies have shown that the bending moment acting on the connection has a particularly strong effect on the stress concentration in the rifled joint. According to numerical experiments, the dependence of the maximum stresses that occur in the cut



connection on the applied bending moment M_b in the range of $5000\text{N}\cdot\text{m}$.. $20000\text{N}\cdot\text{m}$ is described by the trend lines:

$$\sigma_{\max} = 0.3366M_b + 13.55 \text{ (MPa) for an axial force of 200 kN,}$$

$$\sigma_{\max} = 0.3366M_b + 16.9 \text{ (MPa) - for an axial force of 250 kN.}$$

$$\sigma_{\max} = 0.3367M_b + 19.85 \text{ (MPa) - for an axial force of 300 kN,}$$

The results obtained in the zones of stress concentrators in the rifled connection are correlated with the results of the studies described in [2, 3].

Literature:

1. Сегерлинд Л.Дж. *Применение метода конечных элементов*. М. Мир, 1979.

2. Tsukano Y., Nishi S., Nishida S., Ueno M. (1989, January 1). *Last-Engaged Thread-Height Reduction of Pin Increases Fatigue Life of Drill Collar*. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/18704-MS.

3. Bahai H. *A parametric model for axial and bending stress concentration factors in API drillstring threaded connectors*, In *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 78, Issue 7, 2001, Pages 495-505, ISSN 0308-0161..

FEM NUMERICAL ANALYZES OF THE RUBBER BOOT OF THE JOINT DRIVE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

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

Covers joint drive are responsible for the drive components. Their task basics include:

- protecting the inside of the joint against the addition of water, sand, dust and other impurities located on the road,
- providing grease protection against seizing,
- protection of working surfaces against moisture,
- protection of exact surfaces against sand, pebbles, small elementary plants on the road.

The consequence of joint damage is usually the need for a very expensive vehicle suspension repair. This condition can also cause great danger of moving a vehicle. Occasionally the drive system may become blocked or the connection may be broken. Such cases are extremely dangerous.

The rubber boot of the joint drive makes the following movements: when driving onto a hill, the drive shaft is lengthened, and when the wheel is in the recess, the drive shaft must shorten. In addition, when performing a turning maneuver, the guard must adapt to this movement case. No less important element is also driving at high speeds. Then, the grease placed inside is rejected by centrifugal forces on the inside of the cover. This increases the volume of the joint. Large friction occurs on the lateral surfaces of the covers, which manifests itself by increasing the temperature on the lateral surfaces of the slats. The value of the resulting temperature depends on



the time, speed, steering angle and type of cover material. Under extreme conditions, it may rub, as it has a small thickness of the side walls [1].

A number of operating conditions are required for the shape and material of the cover. The material adopted should have sufficient flexibility. This feature is required not only during normal operation of the shield in the vehicle suspension. It is also required during the phase of release of the products of the mold cores. A huge number of broken products can form at this stage. The same material requirement is needed during installation or operation of any kind of repair work.

In production practice, TPE or CR elastomer is the most common material for covers. TPE elastomers are characterized by less elasticity, but they have temporary greater abrasion resistance. The cover made of such material becomes more flexible as the temperature rises. This material is more recommended for use due to the possibility of its recycling. The matter is a bit different with CR based rubber materials. They are more flexible in a wide temperature range. The base polymer and fillers cannot be reused on responsible products due to significant deterioration of their properties. They are usually disposed of or are intended as regranulate for low-responsibility and thick-walled products.

The work proposes constructing joint covers. Then a digital geometric model was created in the CAD environment. This model was the basis for performing non-linear FEM numerical simulation in the MSC.MARC / MENTAT environment. In the analysis, the following were used: local compaction of the generated mesh structure, the hyperelastic Mooney-Rivlin material model, large displacement procedure, Newton-Raphson procedure, optimization of nodes and elements [2-4].

Numerical simulation was performed using the cone method. It involves performing an axial displacement analysis, the purpose of which is to check whether the adopted material and geometric shape will meet the given conditions. The results of this analysis has been shown in Fig. 1. They allow us to state that the material has too low elasticity. Then the material and its properties were changed and re-analyzed. This time the results proved to be more useful for practical application.

It is worth noting that thanks to numerical analysis conducted, can reduce costly test runs. The selection of appropriate properties is much faster and, consequently, is a cheaper process. And this ultimately allows you to improve production efficiency. The time of technical preparation of production and its surroundings is significantly accelerated. The consequence of this is the creation of technological advantage and the production of competitive products.

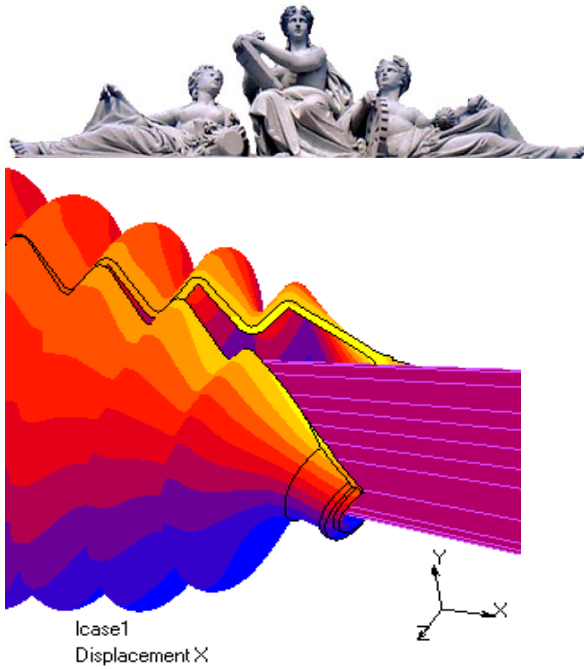


Fig. 1. Result of crack analysis of the rubber boot of the joint drive.

References:

1. Ziobro J.: Numerical analysis and experimental research of the rubber boot of the joint drive vehicle. *DeGruyter, Open Engineering, Volume 6, Issue 1 (Apr 2016) p. 1-7, DOI: <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0009>*
2. Ziobro J.: Analysis of suspension element of car body on the example silentblock. *Advances in Science and Technology Research Journal, Volume 9, No. 28, Dec. 2015, p. 125–129, DOI: 10.12913/22998624/60799.*
3. MSC. Corporation *Nonlinear finite analysis of elastomers.*
4. Ziobro J.: Aspects of modeling and 3D analysis in proces of designing elastomers products, p. 343-352. *Napędy pojazdów, modelowanie komputerowe konstrukcji i układów technologicznych, Rzeszów 2019,*

WIND ENERGY OF SOUTH AND EAST SERBIA

¹Živković M. P., *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ²Tomić A. M., *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ¹Petković Lj. D. , *Doctor of Technical Sciences, Professor*, ¹Vukić V. M. *Doctor of technical sciences, Professor*, ¹Dimitrijević Jovanović G. D, *post-graduate student*

¹*University of Niš, "Faculty of Mechanical Engineering"*,

²*University of Novi Sad, "Faculty of Technical Sciences"*

1. INTRODUCTION

The main goal of this paper was to obtain the best possible locations for siting of wind turbines, with the final goal of making the wind atlas of South and East Serbia. In this phase, twelve mezzo and fourteen micro models are considered, which covers the mountainous area of Eastern and Southern Serbia, where most of Serbian mountains are located. The simulations are mostly performed using the WAsP simulation software. The results are compared by means of the turbine type, quality and quantity of the wind data and the capacity factor. Finally, the economical analysis



of the acceptability of the installing of wind turbine farms was done.

2. MATHEMATICAL MODEL

CFD techniques 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. Then the best wind turbine locations were obtained by using CFD software.

In this paper combination of a linear and full nonlinear model is used.

2.1. Linear model

Linear model is expressed by:

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.

2.1. Nonlinear model

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

continuity equation:

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

momentum equations:

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

turbulence model equations:

$$U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = P_k - \varepsilon \quad (7)$$

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

where:



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

$$v_{\text{eff}} = v + v_T \quad (10)$$

$$v_T = C_\mu k^2 / \varepsilon \quad (11)$$

The modified set of model coefficients is:

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

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

3. 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 [5] 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 [3], due to neglecting of the second-order terms in the momentum equation, i.e. (6).

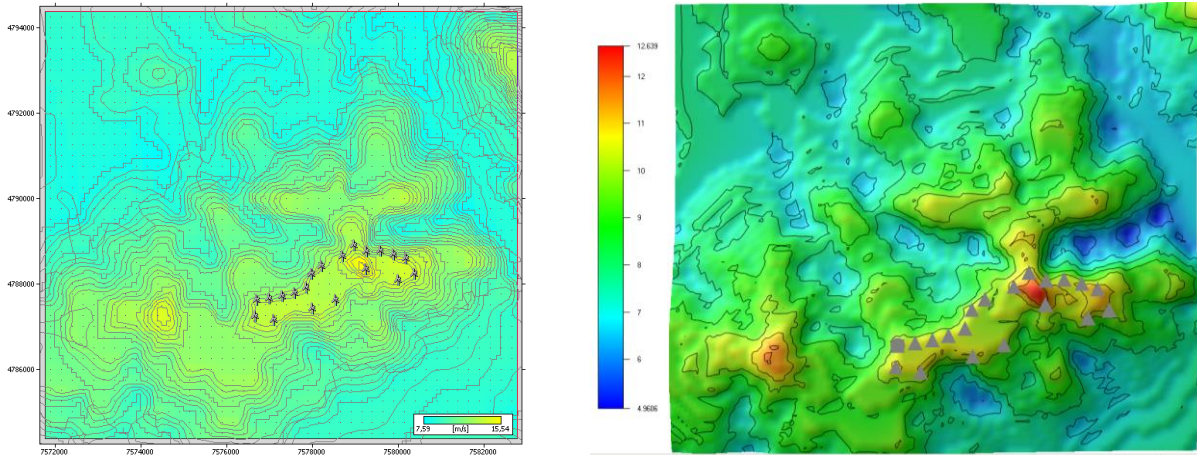


Fig. 1. Mean wind speed fields obtained by simulations in WAsP (left) and WindSim (right)

For obtaining of the results the nesting technique is used. Simulations were done for the Enercon E48 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.

In this paper results obtained by numerical simulation on fourteen micro locations are presented. The considered locations mainly covers the mountainous regions of Southern and Eastern Serbia.



4. RESULTS AND DISCUSSION

Tested mezzo models were Homolje (Beljanica), Kopaonik, Negotin (Miroč), Niš (Seličevica – test model), Braničevo (Srebrno Jezero 1 and 2), Vlasina (Strešer), Stara Planina - Balkan (Babin Zub, Modraž and total), Radan, Zaječar (Rtanj and Tupiznica), Veliki Jastrebac and Vrška Čuka, with fourteen treated micro models (Fig. 2).



Fig. 2. Investigated mezzo (black rectangles) and micro models (red rectangles)

The hub – height of the chosen wind turbine is much larger than the height for mounting of cup anemometers in the meteorological stations (the source of stable, long term measured wind data). Referring to the equation (2), one can find the relation between the measured wind speed data on the height of 10m in the meteorological stations and the adequate data on the hub height of the chosen wind turbine.

The roughness values of the considered terrain have been divided as follows:

- $z_0 = 0.0001\text{m}$ – water, sand, snow (ice)
- $z_0 = 0.03\text{m}$ – grass, crops, low vegetable
- $z_0 = 0.5\text{m}$ – forest
- $z_0 = 1\text{m}$ – urban areas

Reference roughness value of $z_0 = 0.3\text{m}$ can be adopted with sufficient accuracy. Then, the equation (2) can be expressed in the following manner:

$$U_z = U_{10} \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{10}{z_0}} \quad (12)$$



Now, equation (12) gives us the connection between statistically stable wind data on the height of 10m with ones on the hub – height of the wind turbine (which is 138m for chosen turbine):

$$U_{108} = U_{10} \frac{\ln \frac{138}{0.3}}{\ln \frac{10}{0.3}} = 2.1399 \cdot U_{10}$$

As the operation range is 2.5÷28(34)m/s for the chosen turbine, adequate data range from the meteorological station is, according to the equation (12), 1.17÷13.08(15.89)m/s. These were the limits used for wind data processing.

The results for all sites were compared by means of:

wind turbine type:

Enercon E82, 2MW, hub height 138m, maximum power since 12m/s

wind data:

quality: percentage of accepted wind data, considering the operation range for the chosen wind turbine Enercon E82 and

quantity: number of data values, number of data sources available for the chosen area

capacity factor:

relation of estimated annual energy production (AEP) and maximal possible AEP of the wind farm considered (Fig. 3).

Table 1.

Summarized results for all wind farms

Location	AEP [GWh]	turbine [N ^o]	acc. data [%]	cap. fac. [%]
Beljanica	33.527126	16	39.85	11.96
Kopaonik	75.487947	15	38.16	20.56
Miroč	49.568523	18	17.95	15.72
Seličevica	9.5554292	3	16.95	18.18
Srebrno Jezero 1	15.522138	5	27.41	17.72
Srebrno Jezero 2	21.923542	7	27.41	8.00
Stara Planina - Babin Zub	101.51674	15	42.38	38.63
Stara Planina - Modraž	79.800528	12	42.38	37.96
Radan	20.634183	10	17.26	11.78
Rtanj	51.2247	10	34.89	29.24
Tupiznica	25.116965	6	34.89	23.89
Vlasina - Strešer	135.28362	25	23.27	30.89
Veliki Jastrebac	348.50418	98	17.26	20.30
Vrška Čuka	41.183638	10	42.38	23.51

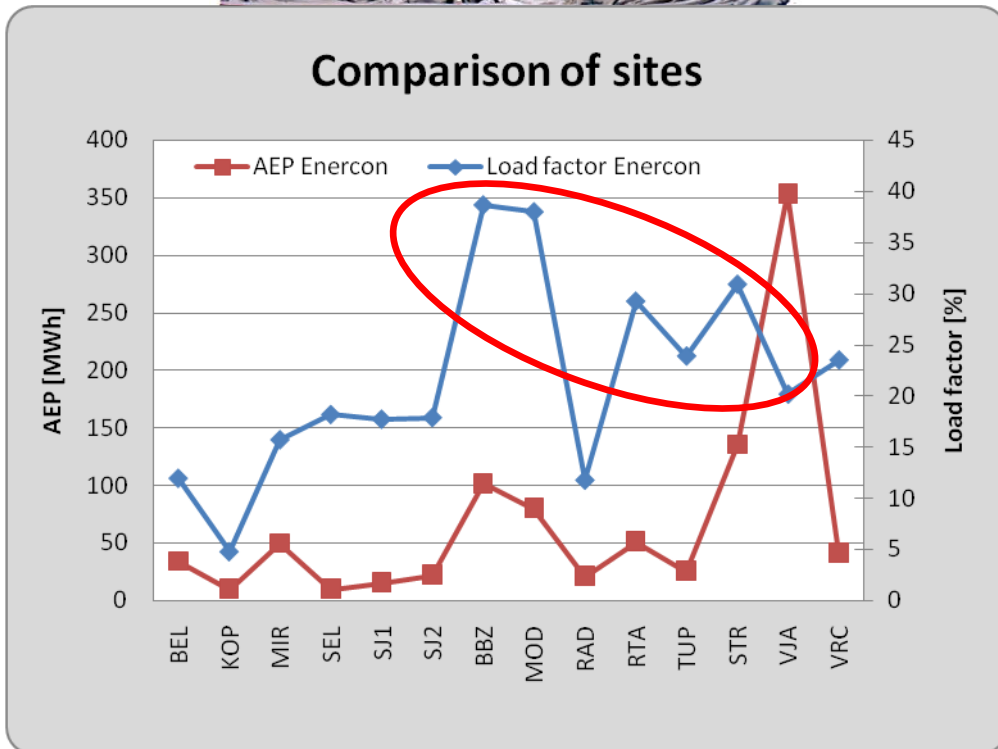


Fig. 3: Comparison of the results according to AEP and load factor

5. ECONOMICAL ANALYSIS

Economical analysis was done according to static and dynamic criteria.

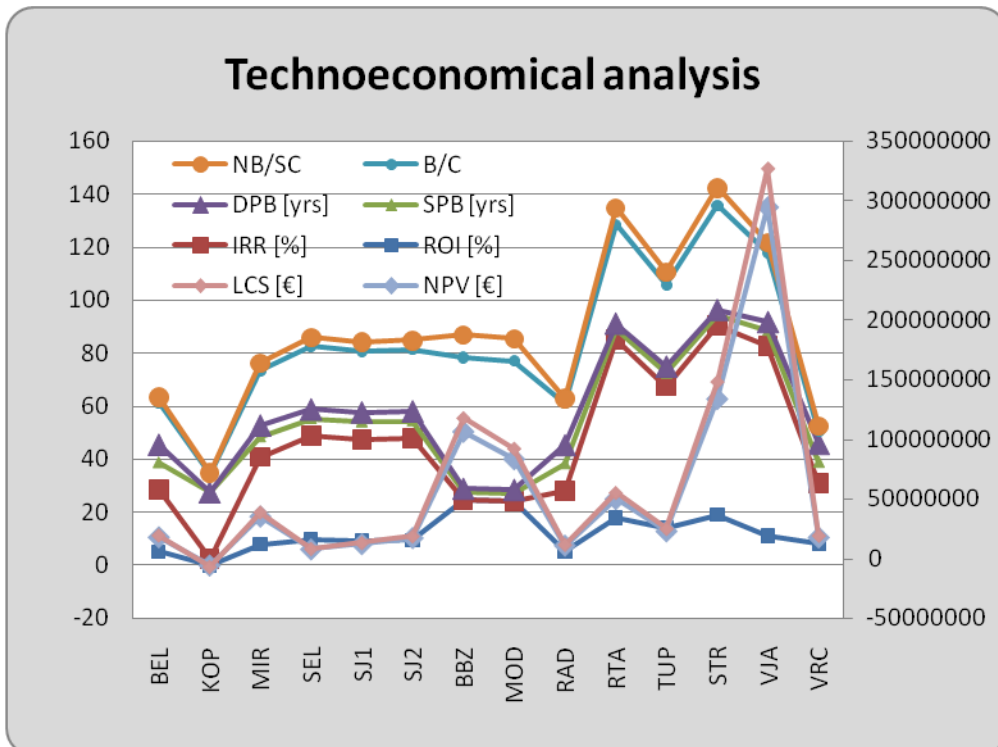


Fig. 4. Economical criteria



Static criteria considered are: rate of income in the first year (ROI) and simple payback time (SPB). They calculate net annual cost savings of an investment and compare it to the initial investment. These criteria are fast and simple.

The basic problem with these criteria is that they do not consider time value of money. For the same reason, they also do not consider the capital dynamic properties invested in the zero time with expected payback time, neither the reduction of annual savings to the present value.

Table 2.

Economical criteria of the chosen wind farm location adequacy

Location	ROI [%]	SPB [yrs]	NPV [mil. €]	IRR [%]
Beljanica	5.02	10.11	17664907	23.57
Kopaonik	2.55	1.59	86241925	44.40
Miroč	7.77	7.69	35011434	33.03
Seličevica	9.57	6.64	7488266	39.16
Srebrno Jezero 1	9.24	6.82	11964901	38.06
Srebrno Jezero 2	9.35	6.76	16996828	38.45
Stara Planina - Babin Zub	24.56	3.12	106090957	0
Stara Planina - Modraž	24.07	3.18	83067908	0
Radan	4.88	10.27	10631433	23.14
Rtanj	17.68	4.13	49709275	67.44
Tupižnica	13.76	5.05	22649037	53.72
Vlasina - Strešer	18.89	3.91	133498755	71.66
Veliki Jastrebac	11.03	5.99	294166756	71.66
Vrška Čuka	8.00	7.95	17455393	22.92

Location	DBP [yrs]	B/C [-]	NB/SC [-]	LCS [mil. €]
Beljanica	6.82	15.8	2.19	1946109
Kopaonik	0.43	6.11	4.73	9501107
Miroč	4.27	20.53	3.09	3857142
Seličevica	3.42	23.63	3.68	824968
Srebrno Jezero 1	3.55	23.05	3.57	1318150
Srebrno Jezero 2	3.51	23.25	3.61	1872508
Stara Planina – Babin Zub	1.28	49.37	8.61	11687836
Stara Planina – Modraž	1.3	48.52	8.44	9151431
Radan	7.02	15.57	2.14	1171244
Rtanj	1.79	37.55	6.35	5476375
Tupižnica	2.33	30.82	5.06	2495201
Vlasina – Strešer	1.68	39.62	6.74	14707300
Veliki Jastrebac	2.94	26.13	4.16	32407784
Vrška Čuka	6.96	4.33	2.45	1923027



Dynamic criteria for an economical evaluation of the project are based on the discount value of money. Usually used methods are net present value of investment (NPV), internal rentability rate (IRR) dynamic payback time (DPB), benefit/cost ratio (B/C), net benefit/start cost ratio (NB/SC), lifelong annual cost savings (LCS).

Basic operation of these dynamic criteria is reducing all costs and incomes during project lifetime to the present value. Assumptions were that the wind turbine lifetime is 25 years, periodical maintenance is on every 5 years; taxes are 15%, inflation rate 7%, price of electrical energy increase rate 12% and net present value of money is 10%.

6. CONCLUSION

In this paper, new treatment of wind data used is presented. All relevant factors that are influencing the simulation were treated: the turbine type, quantity and quality of the observed meteorological data, capacity factor.

Using proposed combined methodology, it is possible in the future work to determine easily the turbine type and the size of the mezzo model. While choosing the micro model, all recommendations (good wind potentials, vicinity of the electrical lines and adequate roads, wake losses limit of 1%, minimization of the influence to humans, birds and telecommunication devices etc.) are taken into consideration. Finally, economical analysis of the considered wind farms was done.

Location	AEP [GWh]	cap. fac. [%]	turbine [N ^o]
Radan	20.634	11.78	10
Beljanica	33.527	11.96	16
Miroč	49.569	15.72	18
Srebrno Jezero 1	15.522	17.72	5
Srebrno Jezero 2	21.924	17.88	7
Seličevica	9.555	18.18	3
Veliki Jastrebac	348.504	20.30	98
Kopaonik	75.488	20.56	15
Vrška Čuka	41.184	23.51	10
Tupižnica	25.117	23.89	6
Rtanj	51.225	29.24	10
Vlasina - total	2973.227	30.89	231
Stara Planina - Modraž	79.801	37.96	12
Stara Planina - Babin Zub	101.517	38.63	15
Stara Planina - total	5339.216	38.63	705

In the following table, comparison of the treated sites considering capacity factor is shown. Marked sites represent the probable locations where the wind turbine installation can be economically acceptable in the mountainous part of Serbia. All of the sites are located in the Eastern Serbia, in the area of the Balkan and Rhodope mountains. This is consequence of the very stable, so called Balkan winds, which are



characteristics of this area. Also, this area is very depopulated, so installing of wind turbines in this area can have large social influence, besides the clear environmental and energy benefits. New ski resorts are being developed in the area, so the consumers can be also nearby.

ACKNOWLEDGMENT

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. Schaffner B., *Wind Modeling in Mountains: Intercomparison and Validation of Models*, study for METEOTEST, Bern, Switzerland and ²VECTOR AS, Tonsberg, Norway.
4. Živković P., *Wind energy estimations in terrain with complex orography - comparative methodology analysis*, master thesis, Faculty of mechanical engineering, Niš, 2006.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

**Афтаназів І.С., д.т.н., професор, Шевчук Л.І., д.т.н., професор,
Строган О.І., к.т.н. старший викладач, Бойко О.О., к.т.н., доцент
Національний університет «Львівська політехніка»**

Поверхнєве пластичне деформування як технологічний засіб підвищення міцності, надійності та довговічності відповідальних сталевих деталей доволі широко використовується у машинобудуванні і зарекомендувало себе як надійний технологічний метод підвищення цим відповідальним деталям спроможності протистояти значним експлуатаційним навантаженнями. Поверхнєве зміцнення, різновиди якого відомі у технічній літературі під назвами «проклепування, карбування, накатування, вібраційне та дробоструменеве зміцнення тощо», доволі широко використовують для обробки радіусних переходів, галтелей та шийок валів різноманітного цільового призначення, барабанів та реборд коліс літаків, гільз двигунів внутрішнього згоряння та pomp бурового обладнання і цілої низки інших відповідальних деталей [1].

Якісне поверхнєве пластичне деформування (ППД) циліндричних поверхонь таких деталей покращує структуру металу в поверхневих його прошарках, формує в них поверхневий шар металу із підвищеною твердістю, забезпечує утворення в поверхневому прошарку залишкових напружень стиску



[2]. Усе це в комплексі підвищує опір металу знакозмінім циклічним навантаженням, зменшує швидкість розростання втомних мікротріщин і, як наслідок, спроможне підвищити надійність та довговічність відповідальних деталей, у тому числі і торсійних валів, які використовують в якості торсійної підвіски у великотонажних машинах та механізмах (військових танках та самохідних артилерійських установках, вагонах і локомотивах залізничного транспорту тощо).

У основу запропонованої конструкції зміцнювача довгомірних деталей закладено ідею використання в якості джерела енергії деформування інерційних сил планетарного обкочувального руху масивного ударного тіла при контактуванні його із поверхнею оброблюваної деталі через незначну кількість деформівних елементів. Вперше цю ідею успішно реалізували у вібраційних конічних дробарках, де подрібнення породи здійснювалось масивним конусом, що приводився в планетарний обкочувальний рух по нерухомому конічному корпусу розташованим всередині нього дебалансним вібратором [3, 4]. У подальшому її використали в конструкціях пристроїв вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки, де при обкочувальному русі у якості ударно взаємодіючих тіл в зміцнювальному процесі поставали масивні віброуючий контейнер та оброблювана деталь, контактуючи поміж собою через незначну кількість сталевих загартованих кульок, розташованих вздовж твірної оброблюваної поверхні [5]. Зміцнені із використанням цієї технології барабани та реборди коліс літаків із магнієвих та алюмінієвих сплавів за довговічністю вдвічі перевищували довговічність цих же деталей, що піддавались зміцненню накатуванням роликком.

Однак, жодна із цих технологій не придатна у безпосередньому її використанні для зміцнювальної обробки поверхонь довгомірних деталей.

В НУ «Львівська політехніка» створена віртуальна 3D модель пристрою для зміцнення ППД зовнішніх циліндричних поверхонь довгомірних деталей у середовищі графічного редактора AutoCAD.

На рис.1 відображено один із видів динамічної віртуальної 3D моделі зміцнювача для поверхневого пластичного деформування торсійних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей. До його складу входять встановлена на оброблювальній деталі трубчаста циліндрична основа, яка базується на зміцнюваній поверхні деталі за допомогою підпружинених пружинами центрувальних роликах. На трубчастій основі на підшипниках розміщені два корпуси, із можливістю обертання, навколо власної осі і співвісної їй геометричній осі оброблюваної деталі, на кожному з яких жорстко закріплено по одному зубчастому вінцю конічного зубчастого колеса.

Конічні зубчасті колеса повернуті зубчастими вінцями один навпроти другого, мають спільну точку перетину осей. Зубчасті вінці разом із введеною у зачеплення із ними привідною конічною зубчастою шестернею формують дві конічні передачі приводу, які обертають корпуси у протилежних напрямках



навколо оброблюваної деталі. Привідна конічна шестерня закріплена у підшипниках на нерухомій основі. Хвостовик валу привідної шестерні через муфту з'єднано з електродвигуном приводу, встановленим на нерухомій основі (на моделі не відображений) [6].

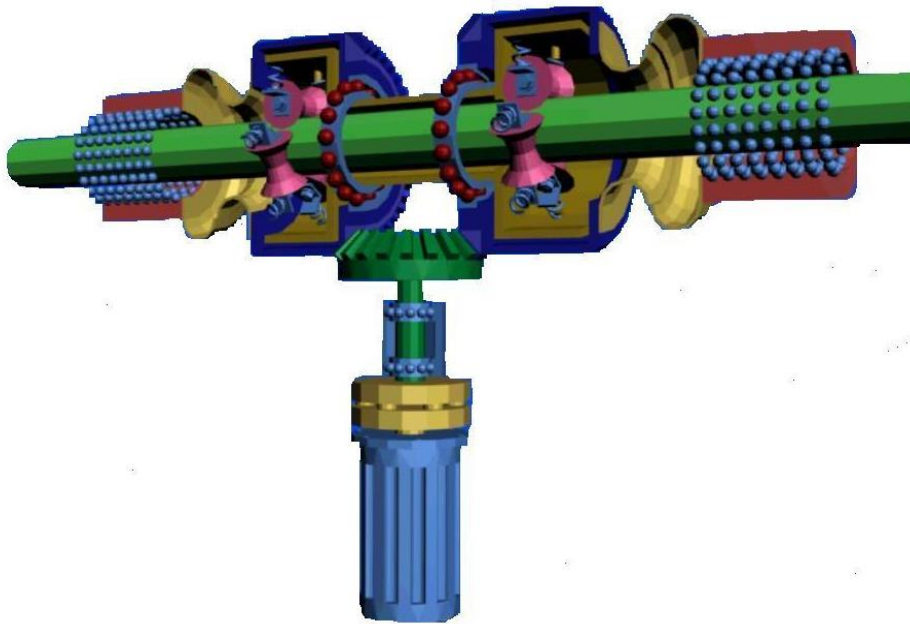


Рис.1 3D модель зміцнювача для поверхневого пластичного деформування торсіонних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей.

Наявність підпружинених центрвальних роликів забезпечує можливість базування оброблюваної деталі та її осьового переміщення відносно основи зміцнювального пристрою.

До кожного із двох корпусів через еластичний пружний елемент (наприклад, гофрований гумовий сильфон) приєднано по масивному зміцнювачу, на внутрішній поверхні якого у сепараторних проточках закріплені з можливістю обертання навколо власної осі деформівні тіла у вигляді сталевих кульок.

Завдяки створеній моделі настає можливим візуальний аналіз руху деталей зміцнювача для поверхневого пластичного деформування торсіонних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей.

Література:

1. Афтаназів І.С. та ін. *Технологічні методи забезпечення надійності машин.*- Київ: КИТ, 2004. –148с.
2. Афтаназів І.С. та ін. *Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням.* Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516с.



3. Иноуэ Дзюнкити, Ароки Йосиоки, Хаяси Сэцуко *О самосинхронизации вибраторов. Часть 1. Вращение неуравновешенного ротора, зависящее от гармонических колебаний его оси.* – Нихон Кикай гаккай роибуесю, 1966, 32, №234.
4. Блехман И.И. *Синхронизация динамических систем.* М., «Наука», 1971. –896с.
5. Афтаназив И.С. и др. *Вибрационно-центробежная упрочняющая обработка деталей машин.* Винница: ВГАУ, 2002. - 235с.
6. Афтаназів І.С., Шевчук Л.І., Строган О.І. *Підвищення довговічності торсіонних валів та довгомірних деталей поверхневим пластичним деформуванням /Scientific Journal “ScienceRise” №4/2(21) 2016р. – м. Харків с. 37-44. РИНЦ.*

ВИНИКНЕННЯ ГАЗОВОЇ КОРОЗІЇ НА ПОВЕРХНЯХ КАНАВОК ВИСОКОШВИДКІСНИХ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Віштак І.В., к.т.н., доцент, Савуляк В.І., д.т.н., професор
Вінницький національний технічний університет

Успішне впровадження підшипників на газовому мащенні в різних сферах виробництва пояснюється перевагами газового мастильного матеріалу. Мінімальні втрати на тертя, а отже, й незначне тепловиділення, що є наслідком малої в'язкості газів, дозволяє досягти досить великих частот обертання. В наслідок невеликих сил тертя спокою, при відносному переміщенні поверхонь пар тертя, розділених мастильним газовим шаром, забезпечується також можливість здійснювати переміщення на малих швидкостях з високою точністю позиціонування. Підшипники з газовим мащенням, не втрачаючи своїх експлуатаційних якостей, можуть працювати в широкому діапазоні температур та тисків (в'язкість газів практично не залежить від температури та тиску), а також в зоні підвищеної радіації (гази не схильні до фазових змін). Крім того, у вузлах на підшипниках з газовим мащенням, які правильно розраховані та виготовлені, зношування робочих поверхонь мінімальне. Газ із зазорів газових підшипників витікає під тиском, не дозволяючи потрапляти в зазори частинок абразивного пилу та хімічних сполук з атмосфери [1, 2], що подовжує їх ресурс.

Проте газові підшипники мають обмежений ресурс роботи. Причина цього викликана такими факторами:

1. У більшості випадків газовий шар створюється спеціально підготовленим атмосферним повітрям. Не зважаючи на фільтрування повітря та відділення вологи з нього забезпечити повну відсутність абразивних часток та вологи не можливо. Зазвичай тонкість фільтрації обмежується частками з розмірами в декілька мкм.

2. Системи відділення вологи забезпечують осушування повітря в межах залишкової вологи 3 - 5 %.

3. Зазори в підшипнику встановлюються в межах від 50 до 120 мкм, а канавки наносяться з розмірами глибиною до 20 мкм і шириною до 2 мм.



Газ, який вдувається в робочий зазор підшипника створює підйомну силу внаслідок динамічних та статичних факторів у зазорах та канавках підшипника, а потім витікає в навколишнє середовище. При цьому на різних ділянках робочого зазору режим течії газу може бути ламінарним або турбулентним. Внаслідок цього виникають зони з підвищеним тиском та зони з пониженим тиском. Всі ці фактори викликають конденсацію рідини та збирання в деяких місцях абразиву. Пил та конденсат концентруються переважно в канавках, що викликає пошкодження поверхонь пар тертя. При цьому форма канавок та їх країв можуть створювати сприятливі умови для ерозії, корозії та зношування.

Корозія є одним з важливих факторів обмеження ресурсу газових підшипників. Внаслідок попадання в робочі зазори продуктів спалювання автомобільних палив, конденсати в переважній більшості утворюють кислоти або кислотні залишки. Це є електроліти, які сприяють протіканню електрохімічних процесів та виникненню осередків електрохімічної корозії. Вторинні структури, що виникають під час цих процесів можуть як екранувати певні ділянки від подальшого зношування, так і прискорювати ці процеси.

Потрібно відзначити, що всі описані вище процеси викликають спотворення робочих поверхонь газового підшипника, перерозподіл тисків газу в підшипнику, порушення статичної та динамічної рівноваги та стійкості обертання вузлів на газових підшипниках.

Ерозія металів [erosion of metals] поступове пошарове руйнування поверхні металевих виробів під впливом механічних впливів або електричних розрядів (електроерозія). Ерозія металів виникає при терті поверхонь, зношуванні, кавітації, а також при дії на поверхню сильних потоків - струменів (газових, рідинних), особливо при високих температурах. Підвищення ерозійної стійкості деталей досягається вибором матеріалу та його термічної обробки, а також вдосконаленням конструкції обладнання і умов його експлуатації. Ерозійні процеси лежать в основі багатьох видів обробки металів (піскоструйна, ультразвукова, електроерозійна) [3]. Саме тому ерозія є однією з причин виходу з ладу високошвидкісного обладнання на газових підшипниках.

Корозія металу - самовільна взаємодія металу з корозійним середовищем при якому окислення металу і відновлення окислювача відбувається одночасно, у одному акті і просторово не розділені. Цей тип корозії має місце при взаємодії металу з сухими газами (повітрям, продуктами спалювання пального і іншими) і рідких електролітів (нафта, бензин) і є хімічною реакцією газового, або рідкого середовища (або їх компонентів, що виявляють окислювальні властивості) з металом. Найбільш розповсюдженим у практиці і важливішим вид хімічної корозії є газова корозія – корозія металів у газах зокрема з киснем повітря при високих температурах. Вона має місце при роботі багатьох металевих деталей і апаратів в металургійній промисловості і при проведенні операцій обробки металів при високих температурах [4, 5].



При взаємодії металу з окислювачем на першому етапі має місце адсорбція окислювача на поверхні металу з подальшою хімічною взаємодією його з металом з утворенням окисної плівки.

Таким чином, при хімічній взаємодії окислювальний компонент зовнішнього середовища взаємодіє з металом, утворюючи на його поверхні, у більшості випадків, плівку, яка може мати захисні властивості – бути спроможною уповільнювати проникнення окислювача і металу один до одного, і в цьому випадку гальмувати процес корозії.

Одним з принципів по вирішенню питання ерозії, корозії та зношування робочих поверхонь в високошвидкісних газових підшипниках є правильний підбір матеріалів з достатньою стійкістю та покриттів з оксидами, які блокують зношування та адгезійне зношування поверхонь пар тертя.

Метою подальших досліджень є вивчення проблеми виникнення газової ерозії, корозії та зношування поверхонь газових підшипників та методи їх оптимізації.

Література:

1. Федотов В. О. Газові підвіси шпиндельних вузлів : монографія / В. О. Федотов, І. В. Федотова. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 244 с.
2. Федотов В. О. Вплив нахилу поздовжніх канавок на характеристики радіальних підвісок / В. О. Федотов, В. В. Савуляк // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2003. – № 1. – С. 62 – 66.
3. Энциклопедический словарь по металлургии. — М. : Интермет Инжиниринг. Главный редактор Н. П. Лякишев. 2000.
4. Духота О. І. Концептуальний підхід до створення поверхнево-модифікованих шарів і захисних покриттів підвищеної зносостійкості / І. Духота // Проблеми тертя та зношування. – 2017. - № 1 (74). – С. 97 – 103
5. Donnet C. Historical developments and new trends tribological and solid lubricant coatings / C. Donnet, A. Erdemir // Surface and coatings technology. – 2007.-vol. 180.-P. 76-84.

ВПЛИВ ФАЗОВОГО СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ СИСТЕМИ В-N_B-C НА ЙОГО РІЗАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

¹Волкогон В.М., д.т.н., професор, ²Антонюк В.С., д.т.н., професор,
¹Аврамчук С.К., к.т.н., ¹Федоран Ю.А., к.т.н., ¹Кравчук А.В., к.т.н.

¹Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича Національної академії наук

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

Висока твердість та міцність надтвердих матеріалів на основі вюрцитного нітриду бору свідчать про можливість ефективного застосування на практиці –



при механічній обробці широкого спектру сталей і сплавів. Вивчення особливостей зношення та стійкості інструментальних матеріалів є одним з центральних питань при оцінці нового інструментального матеріалу.

На даний час існує широка гама інструментальних полікристалічних надтвердих матеріалів (ПСТМ) на основі вюрцитного нітриду бору, композит 10, суміборон, вюрцин тощо), які відрізняються фізико-механічними властивостями пов'язаними з технологією отримання, а також складом і структурою матеріалу [1].

При цьому високі фізико-механічні властивості композитів розширюють можливості створення ефективних і високопродуктивних технологій механічної обробки. Вивчення особливостей зношення та стійкості інструментальних матеріалів є одним з центральних питань при оцінці нового інструментального матеріалу. При визначній зносостійкості в області ефективного застосування нового інструментального матеріалу необхідно порівнювати його службові характеристики з показниками для аналогічних інструментальних надтвердих матеріалів, як і мають широке поширення та використання на практиці.

Вони включають такі показники як продуктивність процесу різання, величина максимального шляху різання, при оптимальному зносу різця, а також області ефективного застосування при забезпеченні високої якості процесу.

На процес різання значний вплив мають контактні явища, які мають місце в результаті взаємодії інструменту з поверхнею оброблюваної деталі. Фізичні особливості процесу обробки визначає тертя між оброблюваним матеріалом і матеріалом різця роль якого особливо помітна при процесі різання з малими перерізами стружки, що має місце при напівчистовому та чистовому точінні різцями з надтвердих матеріалів.

Дослідження процесів, що відбуваються в зоні контакту інструмента із композиційного матеріалу системи «вюрцитний нітрид бору-алмаз» з оброблюваним матеріалом присвячена дана робота.

Визначення технічного рівня розроблених композиційних ПСТМ та їх придатності для використання в якості різального інструменту здійснювалось шляхом досліджень процесів, які мають місце в зоні контакту інструменту з композиційних надтвердих матеріалів з оброблюваних матеріалом та їх різальних властивостей. Для випробувань використовували експериментальні зразки композиційних полікристалічних надтвердих матеріалів на основі системи "вюрцитний нітрид бору-алмаз", які вміщували 10 мас % алмазної складової:

1. Композиційний матеріал на основі BN_v до складу якого входили алмази статичного синтезу 01/0 мкм спечених при $T=1600\text{ }^{\circ}C$ та $\tau=60$ с.
2. Композиційний матеріал такого ж спечених при $T=1000\text{ }^{\circ}C$ та $\tau=90$ с.
3. Композиційний матеріал на основі вюрцитного нітрид бору та алмазів статичного синтезу 10/7 мкм спечених при $T=1800\text{ }^{\circ}C$ та $\tau=60$ с.



Вивчення характеру і особливостей процесу зношування та стійкості різального інструменту із композиту систем «BN_v – алмаз» здійснювали при повздовжньому точінні зразків із загартованої сталі ХВГ (HRC 58...62)

Зразки оброблюваного матеріалу мали постійно контрольовані механічні характеристики.

Для визначення зносу різців використовували спеціальні мікроскопи – інструментальний мікроскоп БМ1 та металографічний мікроскоп МІМ-8М

Спечені полікристали цих матеріалів піддавали механічній обробці по площинах і контуру на універсальному заточному верстаті мод. ЗВ642 за допомогою спеціального пристрою, який забезпечував підготовку поверхні з однієї установки зразка.

Пристрій змонтований на базі верстата являє собою оправку на якій на відстані 35...40 мм по співвісі встановлювали алмазні чашкові круги на органічній зв'язці з різною зернистістю абразиву - 80/63 (груба чорнова підготовка поверхні) та 14/10 (фінішна операція).

Оброблюваний зразок затискали в триповоротні лещата, встановлені на столі верстата. Після фінішної обробки плоских поверхонь здійснювали доведення поверхонь на чавунній шайбі шаржируваній алмазним порошком зернистістю 5/3.

Обробку по контуру проводили на круглошліфувальному верстаті мод. ЗК12 в спеціальному пристосуванні. В обробленому вигляді пластини були круглої форми діаметром $D = 1$ мм, товщиною $S = 3,18$ мм зі зміцнюючою фаскою $0,2 \times 20^\circ$ на різальній кромці по номенклатурі відповідали стандарту 180 RNMN07300T.

Для кріплення різальних пластин при випробуваннях використовували токарні праві прохідні різці з Γ -подібним притискачем. Пластина в різці затискувалась під кутом 6° , що забезпечувало геометрію її різальної частини $\alpha_{\text{повзд.}} = \gamma_{\text{повзд.}} = 6^\circ$.

Дослідження різальних властивостей пластин здійснювали на токарному універсальному верстаті мод. 16К20.

Оброблюваним матеріалом при випробуваннях була сталь ХВГ загартована до 58...62 HRC_E у вигляді циліндричної заготовки діаметром 88...95 мм, довжиною 300 мм.

При випробуваннях стійкості ПНТМ до ударних навантажень в процес обробки використовували заготовки на бічній поверхні яких було виконано повздовжній паз шириною 4 мм.

Випробування проводили з режими – швидкістю різання $V = 75$ м/хв та 150 м/хв., глибина різання $t = 0,2; 0,5$ мм і подача $S = 0,12-0,15$ мм/об.

Критерієм стійкості інструменту при точінні загартованої сталі було прийнято величину зносу різальної пластини з композиційного матеріалу по задній поверхні h_3 , мм.

Дослідження свідчать про те, що форсований знос різців з композиту



«BN_B – алмаз» починається після зносу по задній поверхні більше 0,75 мм.

Встановлено, що точіння загартованих сталей при оптимальних швидкостях різання супроводжується зносом різця як по задній, так і по передній поверхні, що характерно для зношування різального інструменту із композиту-10. В цьому випадку критерій зносу різця повинен складати $h_3 = 0,4$ мм, що зносу забезпечить високу працездатність і надійність інструменту.

Величина зносу визначалась як середнє за результатами трьох випробувань кожної пластини. Дані випробувань наведені в таблиці.

Таблиця

Результати випробувань різальних властивостей пластин з композиту «BN_B – алмаз»

№ зразка	Умови роботи пластини	Тривалість роботи різця, хв	Величина зносу по задній поверхні h_3 , мм	Примітки
1	Гладке точіння	15	0,21	$V = 150$ м/хв., $t = 0,5$ мм
	Точіння з ударом	5	0,12	$V = 75$ м/хв., $t = 0,2$ мм
2	Гладке точіння	15	0,16	$V = 150$ м/хв., $t = 0,5$ мм
	Точіння з ударом	5	0,18	$V = 75$ м/хв., $t = 0,2$ мм
3	Гладке точіння	15	0,15	$V = 150$ м/хв., $t = 0,5$ мм
	Точіння з ударом	5	0,18	$V = 75$ м/хв., $t = 0,2$ мм

Проведені випробування різального інструмента на основі композиційного матеріалу системи «вюрцитний нітрид бору - алмаз» показали, що при обробці загартованої сталі ХВГ в режимі безперервного точіння кращі результати показали зразки які включали алмази статичного синтезу 10/7 мкм та були отримані при $T = 1800$ °С, тобто в діапазоні температур, які сприяють протіканню збиральної рекристалізації матеріалу, так як матрична складова представлена сфалеритним нітридом бору.

При обробці загартованої сталі з наявністю ударних навантажень найкращі показники працездатності виявлено у зразків, отриманих при $T = 1600$ °С, які вміщували алмази статичного синтезу 0,1/0 мкм.

Цей результат можна пояснити там, що температурні умови формування матричної складової композиту на основі вюрцитного нітриду бору сприяли отриманню двофазного стану, який забезпечує високу стійкість композиційного матеріалу до значних динамічних навантажень.

Література

1. Volkogon V.M., Interaction during barothermal processing of wurzcient boron nitride with diamonds obtained under different synthesis conditions / V.M. Volkogon, M.A.Vasylovskaya, I.I.Tymofejeva, S.K.Avranchuk, A.V.Kravchuk, I.I Buzhanska, Y.A.Fedoran, T.V.Pavlychuk, V.S.Antonyuk // Журнал нано та електронної фізики - Суми. -Vol. 11 No 6, 06014(1pp) (2019) – С. 06014-1.- 06014-4. DOI: [10.21272/jnep.11\(6\).06024](https://doi.org/10.21272/jnep.11(6).06024)
2. Barandych R.S., Vysloykh S.P., Antonyuk V.S. Ensuring Fatigue of Parts During Finish Turning with Cubic Boron Nitride Tools //Jornal of Superhard Materials, 2018, Volume 40, Issue 3, 1 May 2018, Pages 206-215. DOI: 10.3103/S1063457618030085



АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

Гаврильченко О.В., к.т.н., професор, Корендій В.М., к.т.н., доцент,
Шенбор В.С., Брусенцов В.Г.

Національний університет «Львівська політехніка»

До низьковольтних керамічних виробів відносяться ізолятори, електроустановочні вироби і деталі, виготовлені з електротехнічного фарфору (кераміки), що використовуються як електроізоляційні деталі за постійної і змінної напруги до 1000 В за частоти 50 Гц. Для виробництва цих виробів використовується маса, яка має 45...50% глинистих матеріалів, 25...30% польового шпату і 20...25% кварцу.

Електромеханічні характеристики виробів залежать не тільки від сировинних матеріалів і поливного («глазурувального») покриття, але головне від технології їх виготовлення. Хоча виготовлення методом пластичного деформування забезпечує більшу міцність виробів за операційним ходом технологічного процесу, але метод вологого (мокрого) пресування має ряд переваг у порівнянні з іншими методами виготовлення виробів. До них відносяться більша продуктивність, вища точність, можливість формування виробів складної конфігурації. Тому більшість низьковольтних виробів виготовляється саме цим методом. Основними операціями цього технологічного процесу є пресування, сушіння, поливання, які виконуються на поточкових лініях (рис. 1) та відпал, який здійснюється у спеціальних печах протягом 5...6 годин за температури 1300...1400°C.

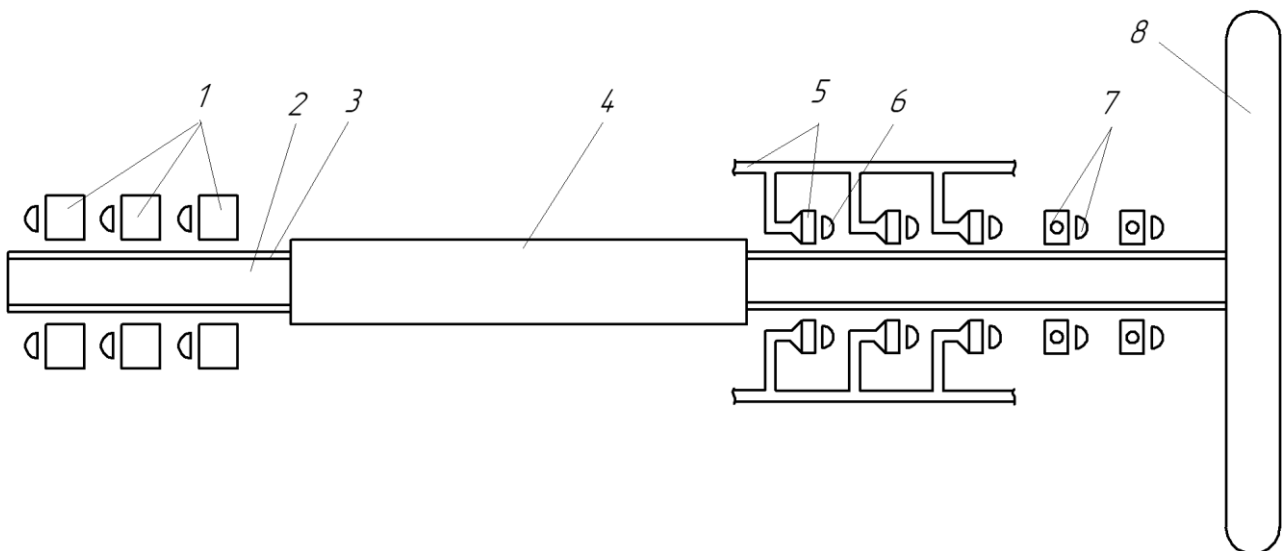


Рис. 1. Схема поточної лінії виготовлення напівфабрикату методом пресування

1 – прес; 2 – конвеєр; 3 – буртик; 4 – сушильна камера; 5 – витяжна вентиляція; 6 – робоче місце для зачищення; 7 – робоче місце для замивання; 8 – поливальний верстат



В неавтоматизованому виробництві працівники знімають з пуансона преса випресувані деталі за руху пуансона вверх (деталі самостійно випадають з пуансона) і встановлюють випресувані напівфабрикати на рухому сітку конвеєра.

З метою автоматизації процесу укладання виробів розроблена роботизована віброукладальна система (рис. 2), яка забезпечує автоматизацію знімання випресуваних напівфабрикатів і встановлення їх на рухому стрічку конвеєра [1], якою вони транспортуються до сушильної камери. Одним з найбільш поширених виробів, що виготовляється є корпус патрона 1 (на рис. 3 показаний після відпалу). За пресування він випадає з пуансона преса 2 дном донизу і має бути встановлений на сітку 3 конвеєра дном доверху. Випресувані корпуси є легкоушкоджуваними виробами. Для недопущення деформації напівфабрикату схоплювач маніпулятора 4 оснащений спеціальними м'якими елементами. Маніпулятор знімає напівфабрикат 1 і встановлює його дном доверху на деку подаючого вібротранспортера 5, який транспортує виріб у безвідривному еліптичному режимі до розподіляючого вібротранспортера 6. Транспортёр 6 забезпечує двокоординатне вібротранспортування (на рис. 2 напрямку транспортування показані стрілками).

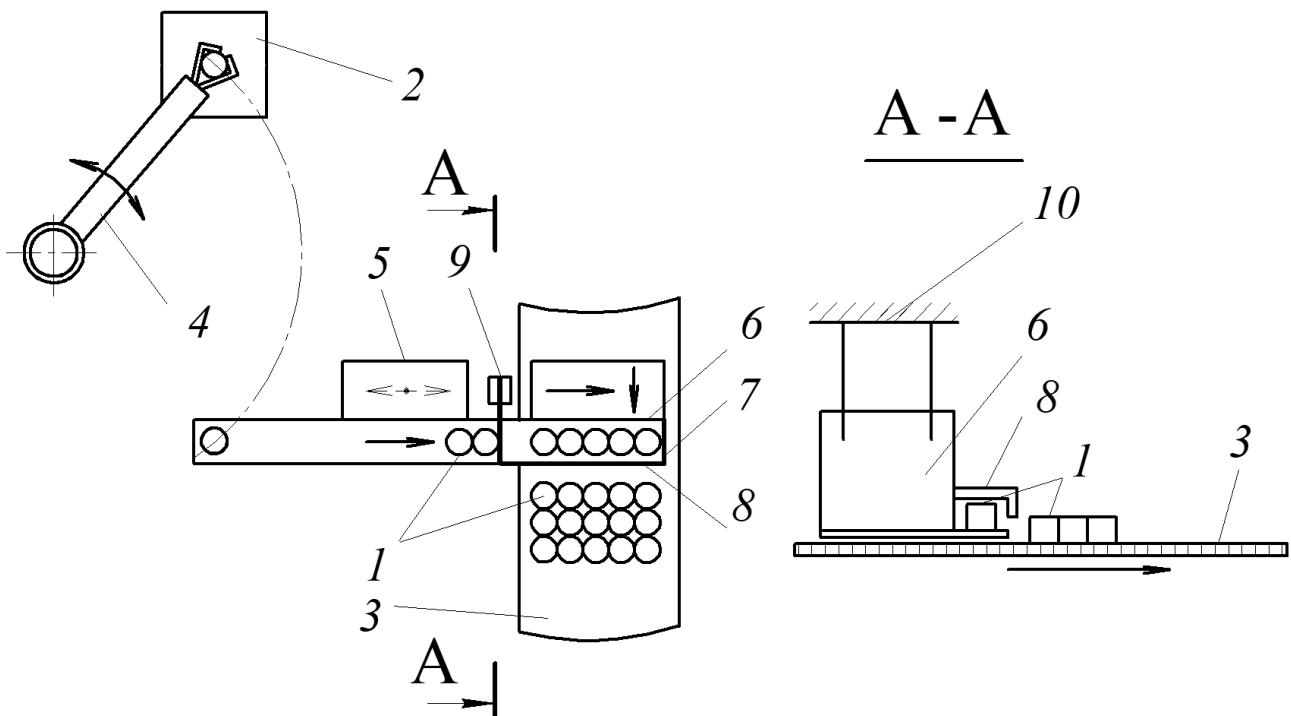


Рис. 2. Роботизована віброукладальна система

Розподіляючий транспортёр подає вироби до обмежувача (упора) 7. Напівфабрикати нагромаджуються на транспортері 6 і не випадають з його деки завдяки рухомій боковій заслінці 8. Над деками транспортерів 5 і 6 встановлений лічильник виробів з рухомою заслінкою 9, який налаштовується на відлік партії (групи) виробів. Сформована група, за командою, завдяки зміні напрямку вібротранспортування транспортёра 6, подається на рухому сітку



конвеєра; заслінка 8 при цьому відкривається, а заслінка 9 закривається. За неперервного пресування на сітці укладаються групи виробів, розміщені у групах щільно. Між групами можуть бути проміжки, або групи можуть розміщуватися на сітці щільно в залежності від продуктивності преса, швидкості розподілюючого транспортера, швидкості сітки і габаритним розміром виробів. Вібротранспортери 5 і 6 підвісного типу монтується на рамі 10, розміщеній на каркасі стрічкового сіткового конвеєра, що дозволяє регулювати щілину між сіткою і деками транспортерів та змінювати зону укладання (штрихові стрілки, рис. 3).

В процесі впровадження системи укладання виробів у виробничих умовах проведені дослідження якості виробів виготовлених ручним і автоматизованим способами укладання. Вимірювання партій деталей по 500 штук проводились після їх відпалу визначенням кількості виробів, зовнішній діаметр стінки яких виходить за поле допуску. У порівнянні з ручним укладанням кількість таких виробів збільшилась на 5,6%. Це можна пояснити їх ймовірним деформуванням за нагромадження групи виробів на деці транспортера-розподілювача, оскільки діє режим поздовжнього вібротранспортування.



Рис. 3. Загальний вигляд керамічного патрону після відпалу

Для усунення цього недоліку у подальших розробках необхідно застосувати тонкі рухомі заслінки, які відділятимуть вироби за нагромадження на невелику відстань (до 1 мм), утримуючи їх за жорстке дно виробу, звівши деформації стінки виробу до нуля.

Запропонована система забезпечує щільне укладання виробів і має переваги перед укладанням виробів роботами-маніпуляторами. Завдяки застосуванню вібротранспортерів з еліптичними коливаннями забезпечується вібротранспортування в безвідривних режимах, чим забезпечується неушкоджуваність виробів, які можуть легко деформуватися. На основі цієї розробки можуть бути створені системи для укладання виробів у лакофарбувальних процесах, кондитерській галузі, за пакування виробів та в інших галузях виробництва [2, 3].



Література:

1. Шенбор В. Синтез гнучких вібраційних транспортно-технологічних систем / В. Шенбор, В. Брусенцов, Ю. Шенбор // XIII Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові, 18-19 травня 2017 р.: матеріали симпозиуму. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2017. – С. 63–64.
2. Korendiy V. Improvement of vibratory conveying and manipulating machines / V. Korendiy, V. Shenbor, O. Havrylchenko, V. Brusentsov // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. – 2018. – vol. 92, no 4. – pp. 68–82.
3. Корендій В. М. Вібраційні транспортно-маніпулюючі конвеєри для пакувального обладнання / В.М. Корендій, О. В. Гаврильченко, В. С. Шенбор // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2018. – № 891. – С. 35–41.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВАНТАЖІВ ТЕЛЕСКОПІЧНИМИ ГВИНТОВИМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ

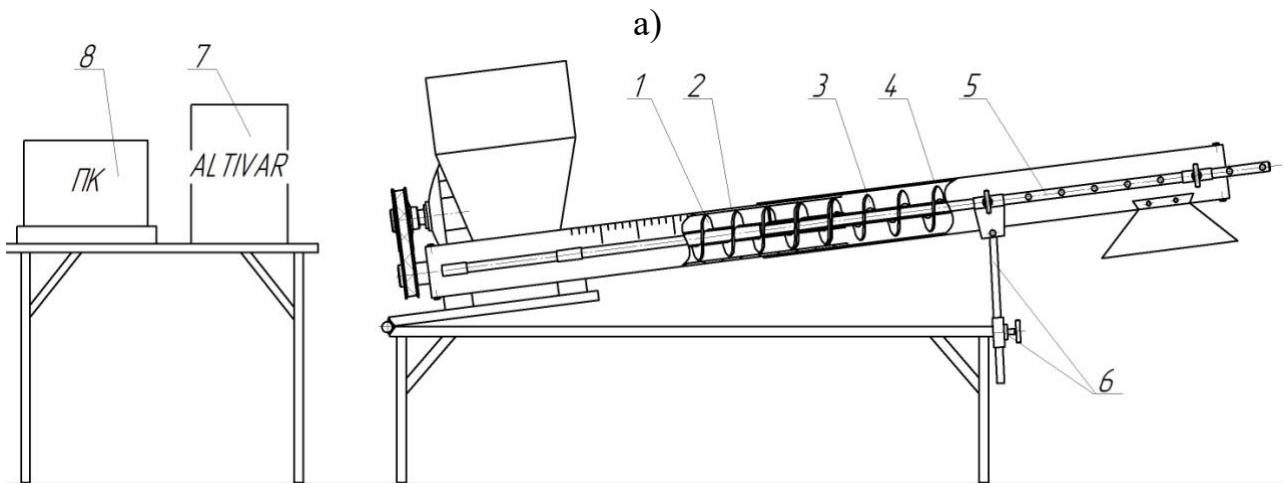
Гевко І.Б., д.т.н., професор, Ляшук О.Л., д.т.н., доцент, Гудь В.З., к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Гвинтові конвеєри використовуються у машинобудівних підприємствах для поштучної подачі вантажів, транспортування стружки тощо. В умовах швидкозмінних потреб ринку часто проводиться переоснащення виробництв, що вимагає і мобільності допоміжного оснащення. Тому нами розроблено гвинтовий конвеєр, в якому використано принцип телескопії, який дозволяє змінювати довжину транспортування чи подачі матеріалів.

Для дослідження принципу телескопії у гвинтових транспортерах на основі проведеного патентного пошуку та аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [1] було розроблено, спроектовано та виготовлено дослідну установку, яку зображено на рисунку 1 та рисунку 2.

В дослідній установці зовнішній діаметр шнека становить 97 мм; внутрішній діаметр нерухомого патрубку - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубку - 109 мм. Рухомий патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднувальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопічної частини гвинтового транспортера.



б)

Рис.1. Стенд для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів:

1 - нерухома в осьовому напрямку секція гвинта; 2 - нерухома в осьовому напрямку частина кожуха; 3 - рухома в осьовому напрямку секція гвинта; 4 - рухома в осьовому напрямку частина кожуха; 5 - направляючі; 6 - регульовальна опора; 7 - перетворювач частоти обертання приводу; 8 - персональний комп'ютер



Нами проведено ряд експериментів і виконано їх опрацювання [2]. Графічні значення результатів залежності потужності, одержаних з використанням Mathcad 2000 Professional на основі аналізу рівнянь регресії, наведено на рисунку 2. З рисунків видно, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина потужності на приводі шнека зростає, при чому найбільша потужність 1,29 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 1,23 кВт та 1,10 кВт відповідно, а мінімальна – 0,31 кВт та 0,28 кВт відповідно. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$, від 300 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека в 3,14 рази.

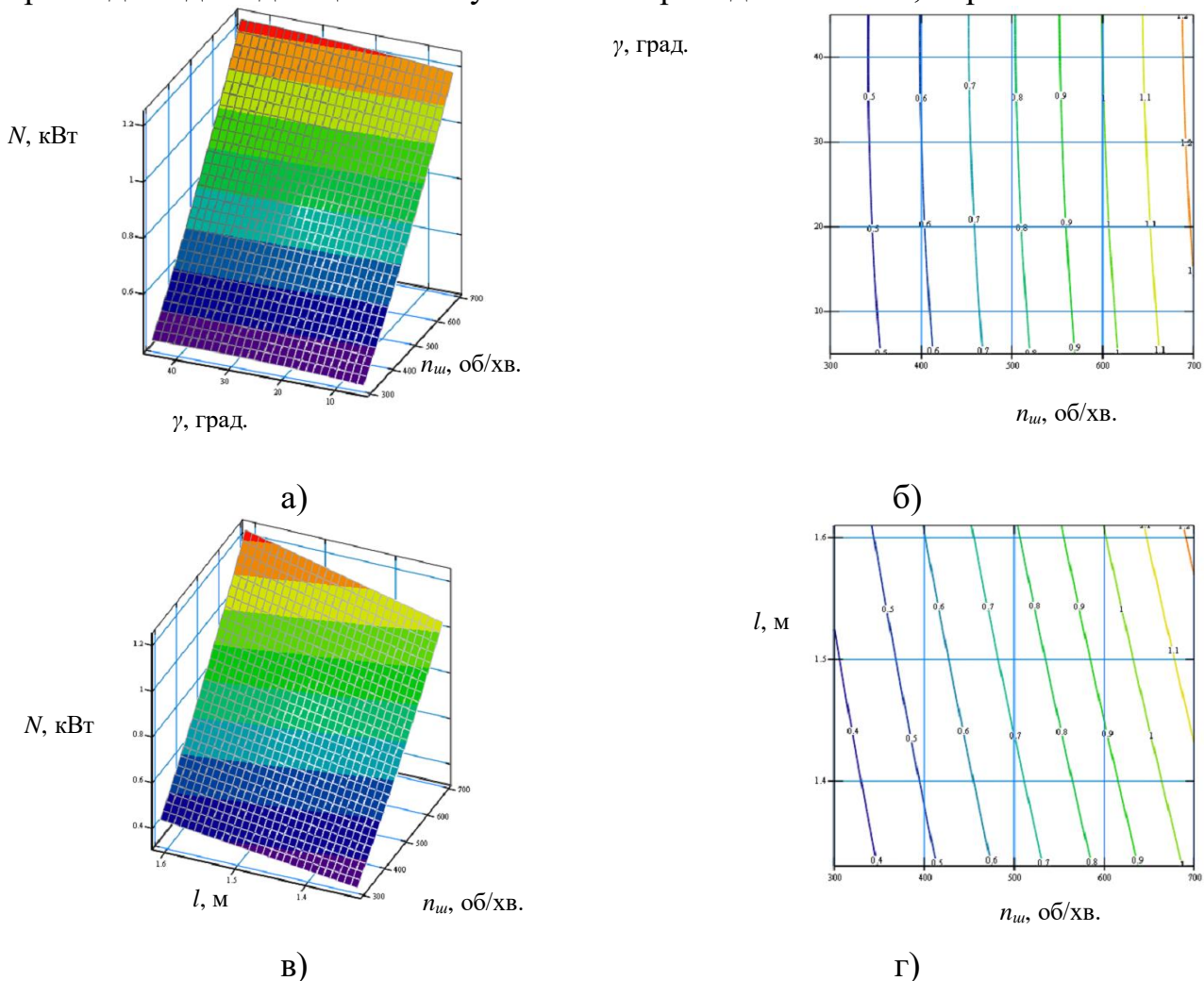


Рис.2 Поверхня відгуку (а, в, д) та двомірний переріз поверхні відгуку (б, г, е) залежності величини витрат потужності на приводі телескопічного гвинтового конвєсєра під час перевантаження кукурудзи від: а), б) $n_{ш}$ і γ при $l = 1,61$ м; в), г) $n_{ш}$ і l при $\gamma = 45$ град.



Також в результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа, що значно впливає на час викочування та заочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому та на появу і величину крутильних і згинальних коливань. Встановлено, що продуктивність перевантаження вантажів телескопічним гвинтовим транспортером не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними гвинтовими конвеєрами.

Література:

1. Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів. /Лв. Б. Гевко, В. З. Гудь, І. М. Шуст та інші. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. — Х., Випуск 168, — 2016, — С. 85-91.
2. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 212 с.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ОСІ ШВИДКООБЕРТАЮЧОГО ШПИНДЕЛЯ ВЕРСТАТА ПІД ДІЄЮ ГІРОСКОПІЧНИХ СИЛ

Гурей В.І., к.т.н., Дмитерко П.Р., к.т.н., Кузьо І.В. д.т.н., професор
Національний університет «Львівська політехніка»

Довговічність деталей машин залежить від якості обробки робочої поверхні та стану поверхневого шару, який формується під час фінішних робіт технологічного процесу обробки деталей. Експлуатаційні властивості деталі є функцією параметрів стану оброблюваної поверхні та поверхневого шару [1].

Інструмент встановлюється на шпинделі верстата після його статичного врівноваження, але досягнути повного балансування інструменту є складно. При високих швидкостях обертання ($60-200 \text{ с}^{-1}$) інструменту через незбалансованість та неточність його установки на верстаті відбувається зсув осі шпинделя. Площина інструмента не є строго перпендикулярною до осі обертання, а нахилена під невеликим кутом. Центр маси інструменту також не збігається з віссю обертання. У цьому випадку виникають гіроскопічні моменти та сили, які періодично змінюють тиск на опори вузла шпинделя верстата. Розглянемо обертання шпинделя при статичному та динамічному дисбалансі. Шпиндель верстата має нерівномірну жорсткість опори. Під дією сил різання шпиндель вигинається. Його вісь обертання та торцева площина інструменту відповідно вигнуті, також будуть нахилені під кутом до осі.



При проектуванні сучасних високошвидкісних валів необхідно передбачити заходів щодо забезпечення тривалої експлуатації опор підшипника. Реакції між валом і опорою, якщо вважати вал і опори жорсткими, збільшуються пропорційно квадрату швидкості обертання. При високих швидкостях обертання зазначені реакції, навіть при хорошому статичному та динамічному врівноваженні, досягають великих значень, а термін експлуатації підшипників вимірюється лише сотнями, а іноді навіть десятками годин [2, 3].

Метою даної роботи була розроблення імітаційної моделі гіроскопічних ефектів при високошвидкісному обертанні шпинделя верстата.

Приймаємо, що шпиндель шліфувального верстата жорсткий і обертається в двох пружних підшипниках А і В. Фіксована система координат xuz вибирається так, щоб центр системи координат збігався з лівою опорою в рівновазі (рис. 1). Даємо шпинделю будь-які переміщення. Координати лівої опори y_1 та z_1 , координати правої опори y_2 та z_2 та координати центрів ваги y_c та z_c . Через зміну координат x_1 , x_2 та x_c більш високі значення меншості будуть ігноруватися. Кут між проекцією осі шпинделя на площину xu і віссю x називається β , а кут між віссю шпинделя і його проекцією на площину xz і віссю x називається γ [4].

Позначимо через y і z координати геометричної точки осі шпинделя, яка лежить на перетині даної осі з площиною, перпендикулярною до осі обертання і яка проходить через центр ваги шпинделя

$$\begin{cases} y_c = y + e \cdot \cos(\omega t) \\ z_c = z + e \cdot \cos(\omega t) \end{cases}$$

Нехай β позначає кут між проекцією основної центральної осі на площину xu та віссю x , а кут між проекцією геометричної осі на площину xu та віссю x – β_2 . Ці кути пов'язані у співвідношенні: $\beta = \beta_2 + \delta \cos(\omega t - \varepsilon)$, де $(\omega t - \varepsilon)$ – кут між площиною, в якій лежать кут δ та площина xu .

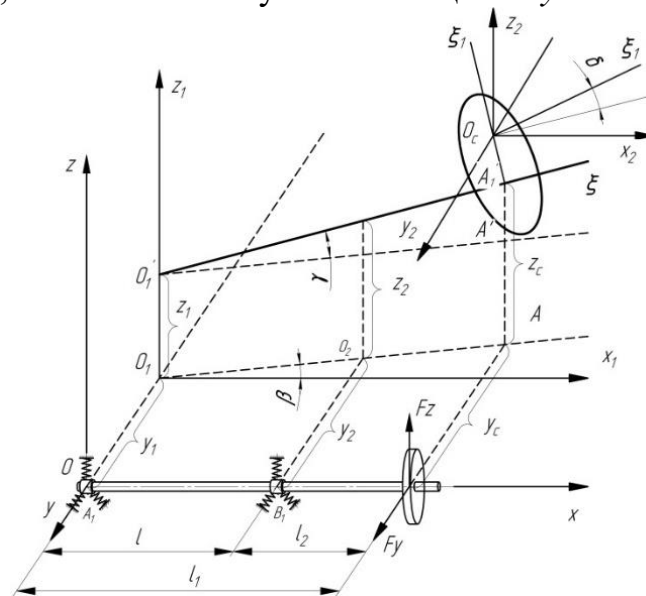


Рис.1. Розрахункова схема



Нехай γ позначає кут між проекцією основної центральної осі інерції на площину xz та віссю x , а γ_2 кут між проекцією геометричної осі на площину xz та осі x . Ці кути пов'язані у співвідношенні: $\gamma = \gamma_2 + \delta \sin(\omega t - \varepsilon)$, де $(\omega t - \varepsilon)$ – кут між площиною, в якій лежить кут δ , і площиною xu

Визначимо кути β і γ за незалежними координатами y_1, z_1, y_2 і z_2 .

$$\begin{cases} y = -y_1 \cdot \frac{l_2}{l} + y_2 \cdot \frac{l_1}{l} \\ z = -z_1 \cdot \frac{l_2}{l} + z_2 \cdot \frac{l_1}{l} \end{cases} \quad \begin{cases} \beta_2 = \frac{y_2 - y_1}{l} \\ \gamma_2 = \frac{z_2 - z_1}{l} \end{cases}$$

Щоб написати диференціальне рівняння малих коливань твердого тіла за наявності гіроскопічних сил, використовуємо теорему про рух центру інерції системи матеріальних точок відносним рухом відносно центру інерції.

Система чотирьох однорідних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{y}_c + c_1 \cdot y_1 + c_2 \cdot y_2 = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) + Q_y \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ m \cdot \ddot{z}_c + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot z_2 = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) + Q_z \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ A \cdot \omega \cdot \dot{\beta}_2 - B \cdot \ddot{\gamma}_2 + z_2 \cdot c_2 \cdot l_2 + z_1 \cdot c_1 \cdot l_1 = -(B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t - \varepsilon) \\ A \cdot \omega \cdot \dot{\gamma}_2 + B \cdot \ddot{\beta}_2 - y_2 \cdot c_2 \cdot l_2 - y_1 \cdot c_1 \cdot l_1 = (B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t - \varepsilon) \end{cases}$$

$$A = \frac{1}{2} m_{sp} \cdot r_{sp}^2 + \frac{1}{2} m_{tool} \cdot r_{tool}^2$$

$$B = m_{sp} \left(\frac{r_{sp}^2}{4} + \frac{l_{onp}^2}{3} \right) + m_{tool} \left(\frac{r_{tool}^2}{4} + \frac{(l_{onp} + l_{ш.інс})^3 - l_{onp}^3}{3l_{onp}} \right)$$

де, m_{sp} – маса шпинделя; m_{tool} – маса інструменту; r_{tool} – радіус інструменту; r_{sp} – радіус шпинделя; l_{tool} – ширина інструменту; l_1 – довжина шпинделя; l_2 – довжина вильоту інструменту; l – відстань між опорами; e – відхилення центру ваги від геометричної осі шпинделя; ω_{sp} – кутова швидкість шпинделя; δ – кут між основною віссю інерції та геометричною віссю; ε – кут між вектором AO_c і віссю η ; A – момент інерції щодо осі симетрії шпинделя; B – момент інерції шпинделя щодо кожної осі, перпендикулярної до осі симетрії; c_a – жорсткість лівої опори; c_b – жорсткість правої опори.

Ми представляємо нові змінні

$$E = c_1 \cdot l; \quad Q_1 = Q_y \cdot l; \quad L = c_1 \cdot l_1 \cdot l; \quad F = c_2 \cdot l; \quad Q_2 = Q_z \cdot l; \quad M = c_2 \cdot l_2 \cdot l; \\ H = m \cdot e \cdot l \cdot \omega^2; \quad J = A \cdot \omega^2; \quad K = B \cdot \omega^2; \quad C = m \cdot l_1 \cdot \omega^2; \quad D = m \cdot l_2 \cdot \omega^2.$$

Отримуємо дві системи алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} D \cdot a_1 + E \cdot a_1 - C \cdot a_3 + F \cdot a_3 = H + Q_1 \\ D \cdot a_2 + E \cdot a_2 - C \cdot a_4 + F \cdot a_4 = H + Q_2 \\ J \cdot a_1 + K \cdot a_2 + L \cdot a_2 - J \cdot a_3 + K \cdot a_4 + M \cdot a_4 = -(B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varepsilon) \\ K \cdot a_1 - L \cdot a_1 - J \cdot a_2 - K \cdot a_3 - M \cdot a_3 + J \cdot a_4 = (B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varepsilon) \end{cases}$$



$$\begin{cases} D \cdot b_1 + E \cdot b_1 - C \cdot b_3 + F \cdot b_3 = 0 \\ D \cdot b_2 + E \cdot b_2 + C \cdot b_4 - F \cdot b_4 = 0 \\ -J \cdot b_1 + K \cdot b_2 + L \cdot b_2 + J \cdot b_3 + K \cdot b_4 + M \cdot b_4 = -(B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \sin(\varepsilon) \\ K \cdot b_1 - L \cdot b_1 + J \cdot b_2 - K \cdot b_3 - M \cdot b_3 - J \cdot b_4 = (B - A) \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

Вищезазначені системи рівнянь дозволяють описати зміщення осі шпинделя верстата в залежності від жорсткості опор і шпинделя

Розрахунки переміщень осі шпинделя проводилися в MatLab-Simulink.

Результати розрахунків показують, що вісь обертання шпинделя верстата описує овал, вісь симетрії якого залежить від складових сили різання під час шліфування (рис. 2).

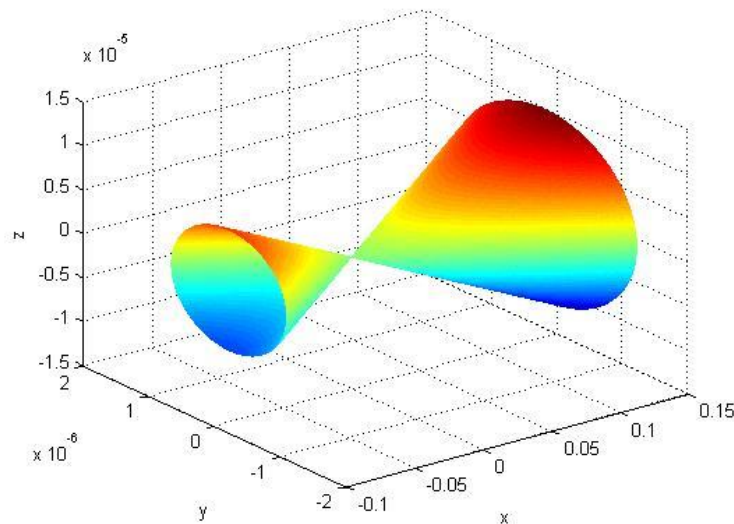


Рис. 2. Переміщення жорсткого шпинделя у пружних опорах

Під час моделювання гіроскопічних впливів на прецесію руху кінця шпинделя верстата отримуємо траєкторію руху шпинделя. Радіус конуса, описаний кінцем шпинделя, збільшується зі збільшенням швидкості обертання. Результати моделювання показують, що радіус конуса, описаний кінцем шпинделя верстата в процесі шліфування, збільшується зі збільшенням сили притискання зі зміною кутової швидкості (рис. 3).

Отримані результати розрахунків впливу зміни шліфувального круга під час прецесії вісі шліфувального верстата зі змінною силою тиску показують, що зміна діаметра шліфувального круга при різній силі тиску істотно не впливає на їх співвідношення під час обробки, а також відповідно до прецесії руху нахилу кінця шпинделя верстата незначно збільшується, а відхилення невеликі.

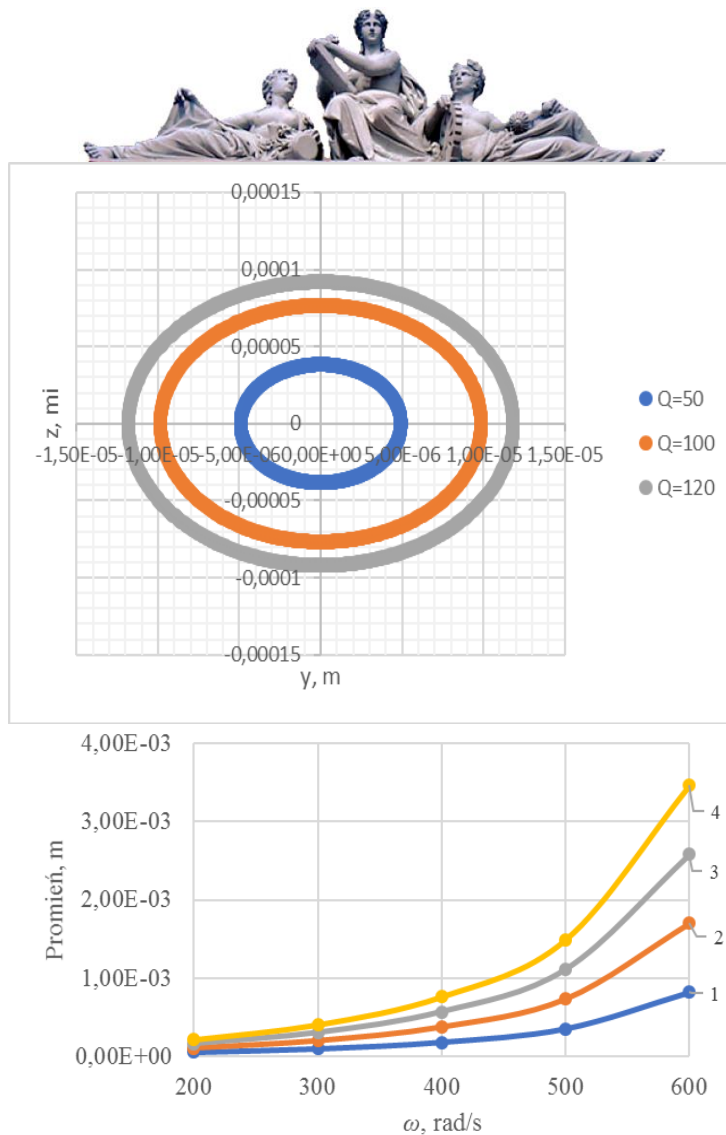


Рис. 3. Переміщення осі шпинделя верстата в залежності від зміни кутової швидкості і сили притиску: 1 – $Q = 50$ Н; 2 – $Q = 100$ Н; 3 – $Q = 150$ Н; 4 – $Q = 200$ Н.

Література:

1. Kopak J., Krajnik P., High-performance grinding – A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 175/2006, p. 278-284.
2. Malkin S., Guo C., *Grinding Technology*. Industrial Press New York 2008. – 375 p.
3. S. Wang, C. H. Li Application and Development of High-efficiency Abrasive Process, *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 47, October, 2012.– p. 51-64.
4. Батъ М.И, Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. *Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 3. (Специальные главы механики)*. – М.: Наука, 1973. -



ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ЙОГО КОМБІНОВАНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Гурей І.В., *д.т.н., професор*, Гурей Т.А., *к.т.н.*
Національний університет «Львівська політехніка»

Зростаючі вимоги до якості виробів, пов'язані з необхідністю підвищення їх точності і надійності, продуктивності і коефіцієнта корисної дії, який у значній мірі визначається експлуатаційними властивостями складових деталей (зносоустійкість та коефіцієнт тертя, втомна міцність, корозійна стійкість, контактна жорсткість, міцність спряження і інші).

Експлуатаційні властивості деталей і вузлів суттєво залежать від якості контактуючих поверхонь і поверхневого шару, який визначається геометричними (макровідхилення, хвилястість, шорсткість) і фізико-механічними (мікротвердість, залишкові напруження, структура) характеристиками і взаємним розташуванням мікронерівностей на контактуючих поверхнях. Усі ці параметри залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей поверхневого шару та стану поверхні виробів, які формуються на кінцевих стадіях виготовлення деталей.

Для підвищення довговічності різних деталей в промисловості широко застосовують технології поверхневого пластичного деформування. Вони прості в реалізації, економічні, продуктивні, забезпечують формування низької шорсткості, заданої глибини і ступеня зміцнення, залишкових напружень стиску в поверхневих шарах, дрібнозернистої структури та інших показників якості поверхневого шару оброблених деталей.

Доцільність використання нових методів поверхневої пластичної обробки визначається не тільки умовами забезпечення високої продуктивності, але і створенням поверхонь з оптимальною, високою несучою здатністю, що особливо важливе при роботі даних контактуючих поверхонь на тертя та зношування і при дії втомних навантажень. Це дозволяє суттєво покращити експлуатаційні параметри та характеристики виготовлюваних виробів та машин.

Поверхнєве пластичне деформування здійснюється локальним деформуєчим інструментом (кулькою, роликом, диском, алмазним індентором і ін.) при якому пластично деформується тільки поверхневий шар деталей. Пластична локальна дія дозволяє зміцнювати поверхні простих і складних форм різноманітних деталей.

При прикладанні зовнішнього напруження до металу пластична деформація в першу чергу протікає в зерні, найбільш сприятливо орієнтованому до зовнішнього напруження (тобто з найбільшим дотичним напруженням). З



ростом зовнішнього напруження спостерігається поступове залучення інших зерен в процесі пластичної деформації при збереженні суцільності зерна. Під дією зовнішнього зсувного напруження дислокації, які генеруються активним джерелом, приходять до границі зерна і затримуються біля неї. У міру накопичення дислокацій зростають напруження. Однак цього недостатньо, щоб перейти з одного зерна в інше через границю. Тому поширення ковзання від одного зерна до іншого здійснюється за рахунок того, що при досягненні певного значення напруження збуджується джерело дислокації в сусідньому зерні.

Фізичні особливості деформаційного зміцнення. Відповідно до сучасної дислокаційної теорії, основні механізми зміцнення, що забезпечують підвищення напруження пластичної течії, можна класифікувати на основі геометричних розмірів «перешкод», що гальмують рух дислокацій (елементами субструктури, межами зерен, розчиненими атомами, дислокаціями, дисперсними частками). Найбільш ефективно зміцнення сталей і сплавів може бути реалізовано шляхом цілеспрямованих технологічних впливів на структуру металів для підвищення густини дислокацій і створення дислокаційної субструктури для збільшення опору зсуву зміцнюваного матеріалу.

Шляхи підвищення властивостей міцності сплавів і сталей полягають в розробленні зміцнюючих технологій, які забезпечують формування такого структурного стану матеріалу, при якому максимально реалізуються основні принципи дислокаційної теорії зміцнення. Інтенсифікація напруженого стану може бути досягнута, якщо буде збільшене деформаційне спотворення зерен матеріалу. Звідси випливає технологічна задача: необхідно створити таку конструкцію і кінематику робочого локального інструменту, які б посилювали при поверхневому пластичному деформуванні спотворення структури матеріалу при збереженні якості поверхневого шару.

У практиці поверхневого пластичного деформування використовують процес локального пластичного деформування циліндричним роликом, що обертається відносно горизонтальної осі. Переміщаючись в осьовому напрямку по поверхні обертового циліндричного зразка, деформуючий ролик створює гвинтову траєкторію пластичного сліду на оброблюваній поверхні. З точки зору деформаційного спотворення мікроструктури цей процес є малоефективним.

Для інтенсифікації процесу пластичного деформування поверхневого шару у зоні деформації інструмент-оброблювана поверхня запропоновано змінити кінематику руху та форму робочої поверхні інструменту. Деформуючий елемент інструменту є роликом з двома робочими профільними радіусами. Інструмент має додатковий обертовий рух відносно осі, яка проходить через площину, що знаходиться посередині між двома профільними радіусами і перпендикулярна до осі заготовки. Радіуси робочої поверхні приймали 3-5 мм, а віддаль між центрами радіусних кривих – 2-4 мм, частота обертання становила 500-2000 об/хв. Для покращання якості оброблюваної поверхні у



зону деформування подається мінеральна олива.

При обертанні ролика навколо діаметральної осі відбувається накладення пластичних полів різних за напрямком орієнтації, що сприяє подрібненню структури поверхневого шару металу і підвищенню ефективності зміцнювального оброблення.

Дослідження були проведені на циліндричних зразках діаметром 20 мм, виготовлених зі сталі 45 у покращеному стані на токарному оброблювальному центрі *DMG DMU 50*. Для зміцнення використовували ролики з однорадіусною (радіус профілю $R_{np} = 5$ мм) та дворадіусною (радіус профілю $R_{np} = 3$ мм, відстань між центрами радіусів $l = 2$ мм) робочою частиною, виготовлені із загартованої і низьковідпущеної сталі У10А, діаметром $D = 30$ мм. Режими обробки: глибина втиснення ролика (натяг) – $t = 0,05-0,1$ мм, подача $s = 0,1-0,3$ мм/об, частота обертання заготовки $n = 100-150$ хв⁻¹, інструменту $n_i = 1000-1500$ хв⁻¹. У зону оброблення подавали мінеральну оливу І-20А.

Експериментальні дослідження шорсткості та топографії зміцненої поверхні проводили на профілографі “*Taliskan 450*” фірми “*Taylor Hobson*”. Отримані результати обробляли з допомогою прикладної програми «*Digital Surf Sarl Mountains Map Universal. Version 2.0.19*». Дана програма дозволяє будувати 3D-модель обробленої поверхні, гістограми розподілів виступів, точкових площ за певними перерізами досліджуваних поверхонь та отримувати криві несучих поверхонь і визначати площі виступів та западин, повторюваність піків на сканованій поверхні та визначати величини кроків і піків виступів.

Шорсткість поверхні знижується монотонно зі збільшенням частоти обертання інструменту. Після зміцнення параметри шорсткості знизилися у 4 рази у порівнянні з вихідною шорсткістю заготовки. При підвищенні швидкості обертання заготовки шорсткість поверхні дещо зростає. Це пояснюється тим, що при малих швидкостях обкатування відбувається більш повне змінання нерівностей. Пластична деформація переважає над пружною внаслідок того, що вплив ролика на одиницю площі при малих швидкостях обкатування більш тривалий. Зі збільшенням швидкості час впливу ролика на поверхневий шар зменшується, пружна деформація переважає над пластичною. Зростання пластичної деформації відстає від зростання швидкості прикладання навантаження. Але підвищення швидкості оброблення має незначний вплив на шорсткість поверхні.

Експериментальні дослідження показали, що при використанні інструмента з дворадіусною робочою поверхнею зменшується не тільки шорсткість, а також і хвилястість обробленої поверхні. Так, під час поверхневого пластичного деформування інструментом з однорадіусною робочою частиною висота макронерівностей становить 8,85 мкм, а з дворадіусною – 5,29 мкм.

На характеристики топографії поверхні суттєво впливає форма робочої поверхні інструмента. При використанні інструмента з однорадіусною робочою поверхнею зсувне деформування відбувається тільки в напрямку обертання



деталі. Формування якості обробленої поверхні відбувається за рахунок однонапрявленого пластичного деформування інструмента по контактуючій поверхні деталі. Обробляючи інструментом з дворадіусною робочою поверхнею пластичне деформування проходить не тільки у напрямку обертання деталі, але також і у по колу за рахунок обертання деформуючого ролика навколо осі державки. У зоні деформації маємо складну кінематику процесу обробки, що у свою чергу формує складний профіль і шорсткість обробленої поверхні.

Аналізуючи гістограми розподілу висоти виступів обробленої поверхні можна сказати, що при використанні інструменту з дворадіусною робочою поверхнею під час обробки у зоні деформування проходить інтенсивніше згладжування виступів, отриманих після попередньої обробки поверхні. Обертання дворадіусного ролика навколо осі державки сприяє інтенсивнішому пластичному деформуванню оброблюваної поверхні. Шорсткість має менші значення параметрів, але вона є більш розвинена з різними значеннями виступів і западин, у порівнянні з обробкою однорадіусним роликом.

Якість обробленої поверхні визначається таким важливим параметром як її несуча здатність, яка визначається як реальна площа поверхні по глибині спотвореного профілю. Крива несучої здатності дозволяє оцінити проходження процесів припрацювання та зношування в умовах тертя контактуючих поверхонь. На основі аналізу характеру кривої несучої здатності обробленої поверхні можемо отримати інформацію про можливу її роботу у процесі тертя та зношування, особливо на початковому етапі роботи пари тертя, коли проходить припрацювання контактуючих поверхонь. На початковому етапі тертя, в умовах припрацювання, будуть інтенсивніше змінюватися розміри контактуючих поверхонь, що є не бажаним для деталей пари тертя. Коли виступи займають більшу площу і переважно близької однакової висоти на обробленій поверхні, тоді будуть менші за величиною питомі навантаження які діють на них. Тоді процес припрацювання буде відбуватися швидше з меншими втратами розміру контактуючих поверхонь.

Під час поверхневого пластичного деформування з використанням інструменту з дворадіусною робочою частиною довжина прямолінійної нахиленої ділянки несучої кривої є меншою, у порівнянні з кривою отриманою при обробці інструментом з однорадіусним деформуючим роликом. Виходячи з цього зміцнена поверхня інструментом з дворадіусним деформуючим роликом має більш сприятливу поверхню для тертя і зношування.

Спектральні густини розподілів виступів на досліджуваних поверхнях дозволяють оцінювати періодичності появи виступів з деяким однаковим кроком. Виступи з малою частотою характеризують процес обробки, коли виникають додаткові вібрації. На основі аналізу спектральних густин розподілу виступів на оброблених поверхнях можна відмітити, що при обробці інструментом з дворадіусним деформуючим роликом площа спектрів є нижчою



у порівнянні з обробкою інструментом з однорадіусним деформуючим роликом. Піки спектрів при обробці інструментами з різними робочими частинами є подібними. Найбільше піків виявлено після обробки інструментом з однорадіусним деформуючим роликом.

Експериментальні дослідження параметрів шорсткості поверхонь проводилось практично при одних і тих же режимах поверхневого пластичного деформування інструментами з різною робочою частиною. Тому піки спектральної густини розподілу виступів відповідають періоду проходження інструмента через зону одиничного контакту.

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНОСТІ СИСТЕМИ ОСНОВА-ПОКРИТТЯ НА ПОКАЗНИК СИНГУЛЯРНОСТІ НАПРУЖЕНЬ

Долгов М.А., д.т.н.,

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

Для вивчення причин руйнування елементів конструкцій з покриттями необхідно враховувати їх напружений стан. Наявність вільного краю покриття, що виникає як при випробуваннях зразків, так й при експлуатації, викликає появу сингулярності полів напружень. Концентратор напружень є осередком розвитку адгезійного відшарування покриття. Була досліджена сингулярність полів напружень елементів конструкцій з покриттями.

В системі основа-покриття в околі вільного краю покриття виникає сингулярність полів напружень. Для її дослідження використовували полярну систему координат з центром в точці O (рис. 1). Положення будь-якої точки основи і покриття визначали відстанню від початку координат O і кутом θ між радіус-вектором r і фіксованою віссю Oz . Покриття займає область $0 < \theta \leq \pi/2$. Модулі пружності і коефіцієнти Пуассона покриття і основи позначили відповідно E_c, μ_c і E_s, μ_s . Тут і далі індекси c відносяться до покриття, s – до основи.

Для вирішення крайової задачі використовували бігармонічні рівняння теорії пружності для функції напружень φ , що залежить від r і θ (функції E_r) [1]:

$$\nabla^4 \varphi_s = 0;$$

$$\nabla^4 \varphi_c = 0,$$

де

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}.$$



Отримане характеристичне трансцендентне рівняння щодо параметра сингулярності λ залежить від пружних характеристик основи і покриття. Дослідження цього рівняння є важливою практичною проблемою, аналіз якої як в теоретичному, так і в прикладному аспектах має велике значення під час визначення напруженого стану елементів конструкцій з покриттями.

Для рівнянь лінійної теорії пружності в околі точки O має місце асимптотична поведінка компонент напружень:

$$\sigma_r^s; \sigma_\theta^s; \tau_{r\theta}^s \sim r^{\lambda-1};$$

$$\sigma_r^c; \sigma_\theta^c; \tau_{r\theta}^c \sim r^{\lambda-1}.$$

За наявності значень λ , які відповідають умові $0 < \text{Re}(\lambda) < 1$ напруження прямують до нескінченності (якщо $r \rightarrow 0$). Саме ці значення визначають сингулярну поведінку напружень в околі точки O .

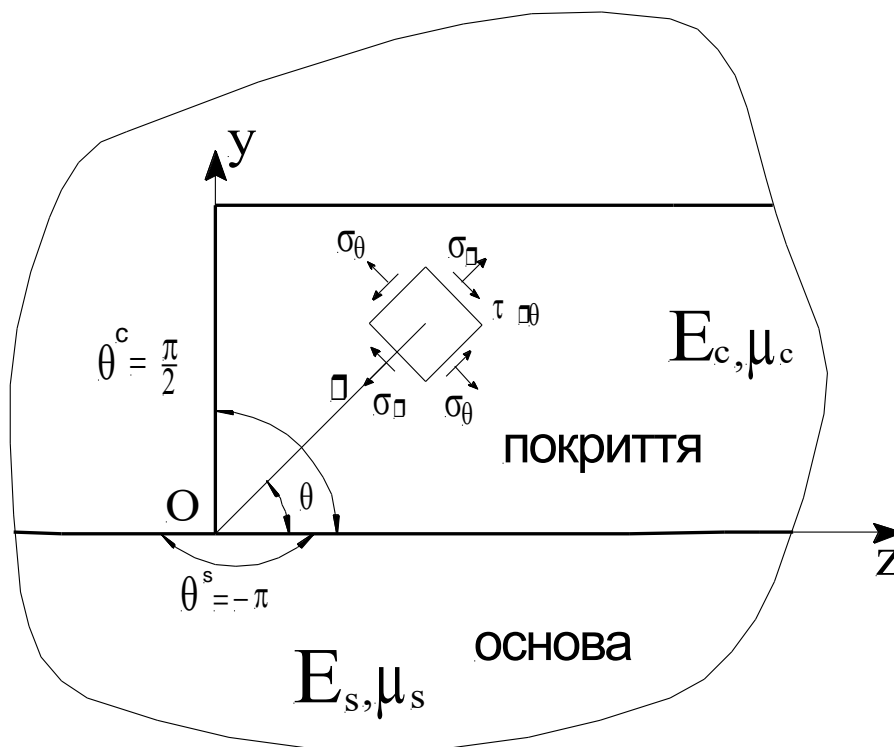


Рис. 1. Елемент системи основа-покриття в полярній системі координат

Характеристичне трансцендентне рівняння для визначення власних значень λ має нескінченну кількість дійсних і комплексних рішень. Обмежимо область рішень нерівністю $0 < \text{Re}(\lambda) < 1$ під час визначення порядку сингулярності для полів напружень і переміщень. Значення $\lambda = 0$ та $\lambda = 1$ є тривіальними



рішеннями характеристичного рівняння, відповідними переміщенню і обертанню абсолютно твердого тіла.

Рішення характеристичного трансцендентного рівняння отримали чисельно. Розрахунки виконували для покриттів з модулем пружності, який менше модуля пружності металевої основи. Розраховані показники сингулярності λ представлені в таблиці. При розрахунках приймали, що модуль пружності основи $E_s = 200$ ГПа, а коефіцієнти Пуассона основи і покриття – $\mu_s = \mu_c = 0,3$.

Таблиця.

Показники сингулярності для різних співвідношень модулів пружності покриття і основи

<i>Співвідношення модулів пружності E_c/E_s</i>	<i>Показник сингулярності λ</i>
<i>0,1</i>	<i>0,62</i>
<i>0,01</i>	<i>0,66</i>
<i>1</i>	<i>0,54; 0,91</i>

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що зі збільшенням модуля пружності значення показника сингулярності збільшується. У разі рівності модулів пружності основи і покриття характеристичне рівняння має два кореня. Ці особливості системи основа-покриття необхідно враховувати при розрахунках на міцність елементів конструкцій з покриттями.

Література:

1. Тимошенко С.П. *Теория упругости* / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.



ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ АВТОКОЛИВАНЬ

Дядя С.І., *к.т.н., доцент*, Козлова О.Б., *к.т.н.*, Гермашев А.І., *к.т.н.*
Варава Н.А., *магістр*
Національний університет «Запорізька політехніка»

При кінцевому фрезеруванні, як і при інших видах обробки різанням, діючі сили викликають пружні деформації інструменту і деталі.

При цьому змінюється як настроювальний розмір, так і величина припуску, що знімається, і ефективність обробки (E_{ϕ}), яка визначається відношенням дійсно знятого об'єму метала (Q_{ϕ}) до теоретичного (Q_m).

Ці величини можна попередньо розрахувати на підставі режимів різання, геометрії інструменту, механічних властивостей оброблюваного матеріалу, інструменту, вузлів верстата.

$$\dot{A}_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q_m} \cdot 100\% = \frac{a_p \cdot (a_e - y) \cdot L}{a_p \cdot a_e \cdot L} \cdot 100\% = \frac{a_e - y}{a_e} \cdot 100\% \quad (1)$$

де a_e – радіальна глибина різання, мм;

a_p – осьова глибина різання, мм;

l – довжина різання, мм;

y – пружні відтискання системи «інструмент-деталь», мм.

Як видно з формули (1), через наявність пружних деформацій ефективність обробки менше 100%. Однак, слід зазначити, що при цьому не враховується динаміка процесу різання і вплив діючих коливань. Як зазначалося в роботі [1], розрізняють п'ять швидкісних зон, в яких при фрезеруванні діють характерні для них коливання. Найбільша їх кількість (а саме: вимушені, автоколивання та вільні коливання після виходу інструменту із зони різання) припадає на третю швидкісну зону.

Обробка в третій швидкісній зоні характерна для чорнового і напівчистового фрезерування деталей з важкооброблюваних матеріалів.

Для визначення впливу автоколивань на ефективність різання були проведені дослідження при фрезеруванні з частотами обертання шпинделя $n = 180$ об/хв, 224 об/хв, 280 об/хв, 355 об/хв, 450 об/хв, що входять в третю швидкісну зону, та наступними іншими режимами: подача на зуб – $S_z = 0,1$ мм, осьова глибина – $a_p = 3,4$ мм, радіальна глибина – $a_e = 0,5$ мм. Матеріал досліджуемого зразка – Сталь 3кп. Напрямок подачі – зустрічний.

Для запису профілю обробленої поверхні і визначення об'єму фактичного припуску, що знімається, використовували пристрій і методику, описану в [2].



На підставі проведених експериментів отримані результати, графічне зображення яких наведено на рисунку 1.

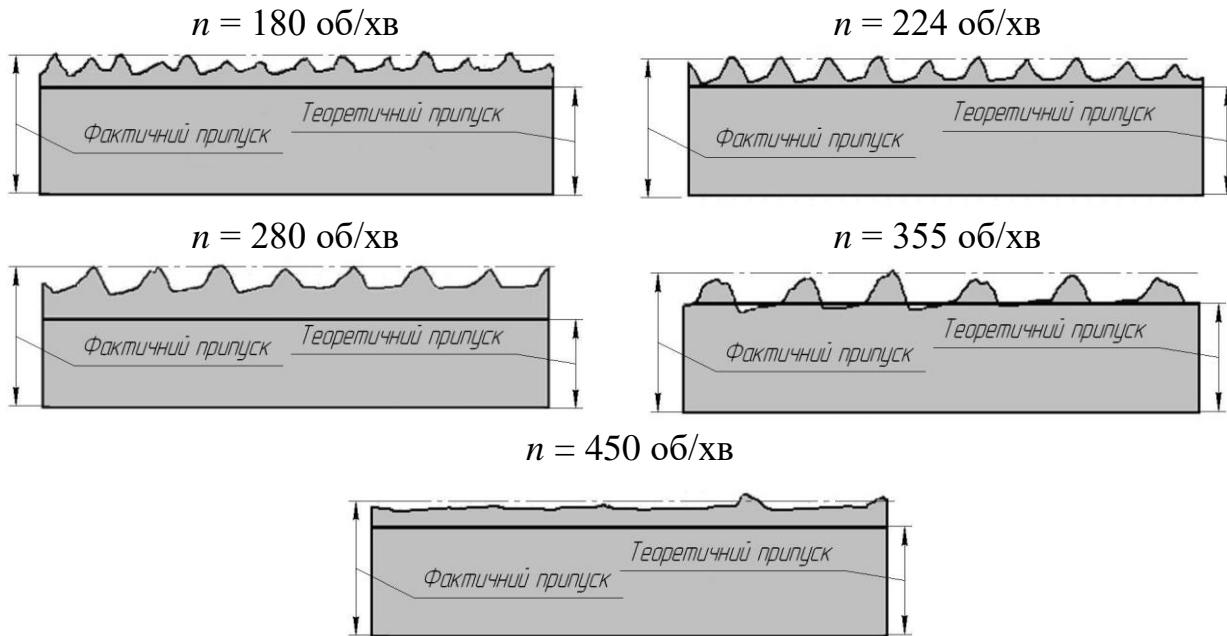


Рис.1 – Теоретичний і фактично знятий припуск при фрезеруванні з різними частотами обертання шпинделя в умовах дії автоколивань

За обробленими даними досліджень у таблиці 1 та таблиці 2 наведені значення теоретичного і фактично видаленого припуску та розрахованої ефективності.

Таблиця 1

Теоретичний і фактичний об'єм видаленого припуску

Частота обертання шпинделя $n_{шт}$, об/хв	180	224	280	355	450
Теоретичний об'єм Q_t , мм ³	85				
Фактичний об'єм Q_f , мм ³	101,22	95,54	119,68	91,29	100,47

Отримані результати показують, що при фрезеруванні в третій швидкісній зоні на всіх частотах обертання шпинделя фактично знятий припуск більше теоретичного. Цьому сприяють автоколивання при фрезеруванні, що приводять до додаткового вривання інструменту в деталь, під час якого формується хвилястий профіль обробленої поверхні [3].



Цю особливість треба враховувати при розрахунках технологічних розмірних ланцюгів і призначенні режимів різання для забезпечення заданої точності.

Таблиця 2

Ефективність зустрічного фрезерування при різних частотах обертання шпинделя в умовах дії автоколивань

Частота обертання шпинделя $n_{шпн}$, об/хв	180	224	280	355	450
Ефективність фрезерування, $E_{ф}$, %	119	112	140	107	118

Література:

1. Дядя, С.И. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей / С.И. Дядя, Е.Б. Козлова, Э.В. Кондратюк, В.А. Кришталь, А.Е. Зубарев // Вестник двигателестроения. – № 1. – 2016. С. 68–71.
2. Применение технологических сред при фрезеровании тонкостенных деталей : монография / Ю. Н. Внуков, А.И. Гермашев, В.Ф. Мозговой и др. – Запорожье : ЗНТУ, 2016. – 187 с.
3. Мозговой, В.Ф. Формирование профиля обработанной поверхности при концевом цилиндрическом фрезеровании с автоколебаниями / В.Ф. Мозговой, С.И. Дядя, Е.Б. Козлова и др. // Вестник двигателестроения, – №1. – 2018. С. 92-100.

ПИЛОЗАХИСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ І СВС

¹Жигуц Ю.Ю., д.т.н., професор, ¹Легета Я.П., ст. викл., ²Лазар В.Ф., к.т.н., доцент, ²Хом'як Ю.Я., к.ф.-м.н., доцент

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

²Мукачівський державний університет

На сьогодні покращення властивостей матеріалів досягають, переважно, використанням традиційних технологій отримання матеріалів та наступною термічною, хіміко-термічною та іншими способами обробки. Але їх висока енергоємність, необхідність поєднання декількох технологічних етапів, дотримання екологічних вимог призводять до потреби пошуку інших шляхів надання необхідних властивостей поверхням матеріалів та синтезу нових матеріалів інколи з унікальними властивостями, які надають змогу уникнути наведених недоліків [1]. Для реалізації комбінованих технологій необхідний цілий комплекс обладнання, що дозволяє забезпечити високу якість покриття



поверхонь деталей [2]. Одним із таких перспективних комплексів є розроблення і використання, запропонованого у даній роботі, теоретично розробленого і експериментально обґрунтованого пристрою для знепилювання і легування поверхні, який може застосовуватися навіть в умовах дрібносерійного виробництва при обробці окремих деталей та заготовок [3,4].

Зараз аналогічне за призначенням обладнання в Україні не випускається.

Конструкторське розроблення комплексу. Розроблене обладнання призначене для забезпечення засобами пилозахисту технологічного обладнання для процесів легування при виробництві деталей у серійному та дрібносерійному виробництвах. Камери знепилювання створюють повітряне середовище у зоні завантаження пристроїв для комплексного наплення та легування. Камери знепилювання являють собою збірно-розбірні конструкції, які складаються з стельових блоків знепилювання встановлені на стійках. Робочий об'єм обмежують стіни, виконані з прозорого вогнестійкого зміцненого скла. Для доступу в робочий об'єм передбачені двері. Підлогою камер служить підлога приміщення в якому вони встановлені. Управління роботою камери здійснюється від пульта управління, встановленого на стійці.

Блок знепилювання являє собою безкаркасну зварену конструкцію, в якій встановлені вентилятор і фільтри. Зовнішній вигляд комплексу показаний на рис. 1. Принцип роботи камер полягає у безперервній подачі в робочий об'єм рівномірного вертикального потоку очищеного повітря, який рухається в робочому просторі зверху вниз захоплюючи на своєму шляху зважені частинки, що утворюються при виконанні технологічних операцій і виносить ці частинки за межі робочого об'єму.

У камерах встановлені вискоефективні фільтри тонкої очистки повітря з фільтруючою тканиною ФПП 15-3,0, що дозволяє забезпечити чистоту повітря в робочому об'ємі, яка відповідає I класу чистоти.

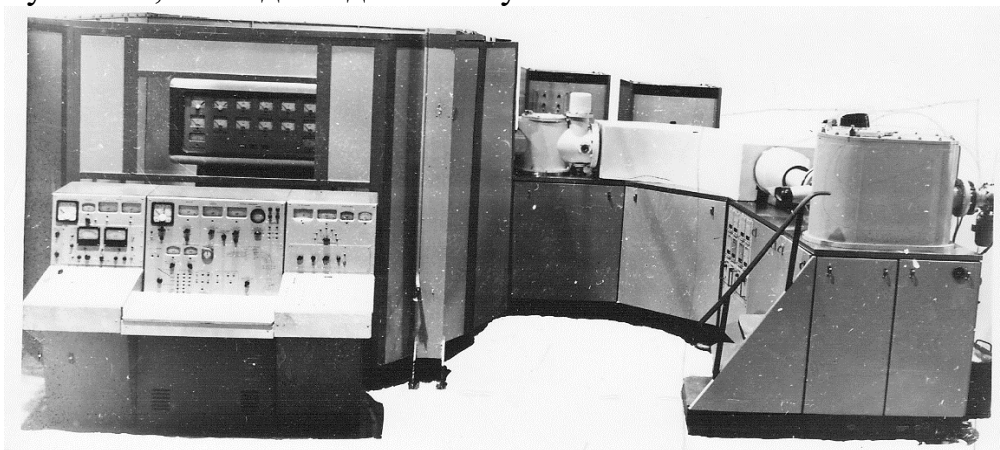


Рис. 1. Зовнішній вигляд комплексу

Відцентровий вентилятор у камерах забезпечує продуктивність до 2000 м³/год. За технічним рівнем і якістю обладнання знаходиться на рівні кращих зарубіжних зразків аналогічно призначення. Таким чином розроблене



обладнання призначене для створення повітряного середовища в зоні завантаження пристроїв для іонного легування та СВС. Використання обладнання в таких комплексних технологічних процесах підвищує відсоток виходу придатних виробів на 0,6%. Технічна характеристика обладнання показана у табл. 1.

Таблиця 1.

Технічна характеристика обладнання

Технічні показники комплексу	Значення показника
Концентрація частинок пилу в робочому об'ємі кількість частинок / л повітря	4
Розмір частинок, мкм	0,5
Швидкість повітряного потоку, що надходить в робочий об'єм, м/с	0,3-0,4
Спожита потужність, кВА	1,5
Освітленість робочого об'єму, лк	400
Габаритні розміри робочого об'єму, мм	
довжина	1400
ширина	1010
висота	2300

Експериментальні роботи з використання комплексу для виготовлення виробів комбінованими технологіями. При плазмовому напиленні поверхні (ПНП) СВС сумішами практично весь W взаємодіє за рахунок безкисневого горіння із вуглецем, утворюючи карбід WC . Надлишок вуглецю і дуже невелика кількість вольфраму легують залізо, утворюючи рідку сталь евтектоїдного складу, яка в умовах швидкого охолодження перетворюється у тростит.

Проведені експериментальні роботи з отримання високоміцного шару матеріалу на поверхні сталі дали змогу отримати товщину легованого шару ~ 500 мкм. Цей шар складається з $\sim 50\%$ частинок WC і $\sim 50\%$ (за об'ємом) металічної зв'язки (сталі типу У8А). В зоні інтенсивного теплового впливу мікроструктура сталі набула дуже дрібної стовпчастої будови із невеликим нахилом тонких дендритів (які майже не мають гілок) у сторону, протилежну напрямку просування плазми. У напівпроплавленій зоні видно високотверді ($\sim 2000 HV$) карбіди WC , які займають до 50% об'єму всього шару карбідосталі.

Проведені дослідження показали, що мікротвердість карбідів WC майже у десятки разів вища твердості сталі. Таким чином, вдалося організувати СВС-процес у порівняно тонкому шарі за рахунок використання технології ПНП для нагріву, оплавлення і навуглецьовування заліза; для оплавлення частинок W і його "горіння" у вуглеці із утворенням карбідів WC та розробити обладнання для знепилювання робочої зони камери.

Висновки. В результаті дослідно-конструкторського розроблення авторами



проведено цілу низку пошукових робіт, розроблена робоча конструкторська документація дослідного комплексу для пилозахисту і легування деталей у процесі плазмового напилення, виготовлені дослідні зразки та проведені їх експлуатаційні випробування, а також проведені експериментальні роботи з дослідження зразків отриманих при використанні комплексних технологій. Крім цього розроблена конструкція блоків знепилювання, принципові та функціональні схеми систем очищення повітря від пилу, розроблені процеси регулювання швидкостей потоку повітря та управління режимом роботи обладнання.

Суміщення ПНП і СВС у одній операції дозволяє вирішити цілий комплекс технічних завдань з отримання високотвердих матеріалів типу карбідосталі і твердих сплавів на поверхні сплаву. Новий комплексний технологічний процес дозволяє нарощувати зношені поверхні деталей машин, апаратів і приладів на глибину до 500 мкм матеріалами, що мають високі механічні, службові і технологічні властивості.

Література:

1. Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф. *Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами*. Ужгород: Видавництво «Інватор», 2014. – 388 с.
2. Zhiguts Yu., Legeta Ya., Golovka Yu. *Development of SHS technology // Prospects of world science –2019: XV intern. scientific and practical conf., 30 July 2019 - 7 August 2019: Materials of the conf.* – Sheffield: Science and education LTD, 2019. – № 8. – P. 61 - 63.
3. Пат. 123021 Україна, МПК F24C 15/12. *Спосіб підвищення ефективності спалювання горючих сумішей* / Ю.Ю.Жигуц, І.І.Опачко. Заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет». – № u2017 07129; заявл. 06.07.2017; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.
4. Пат. 124205 Україна, МПК B03C 3/00. *Спосіб для очищення, зберігання та складування електростатично заряджених матеріалів* / Ю.Ю.Жигуц, І.І.Опачко. Заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет». – № u2017 10535; заявл. 31.10.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6.



УДОСКОНАЛЕННЯ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОЇ ПРИТИРАЛЬНОЇ МАШИНИ З КОЛОВИМИ КОЛИВАННЯМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

¹Захаров В.М., ²Кузьо І.В., *д.т.н., професор*, ²Корендій В.М., *к.т.н., доцент*

¹ПрАТ «ЛЕЛЗ «Искра»

²Національний університет «Львівська політехніка»

Вібровикінчувальні верстати зазвичай використовуються для виконання фінішних технологічних операцій, зокрема, для притирання плоских торцевих поверхонь циліндричних деталей [1].

Аналізуючи інформаційні джерела за тематикою вібровикінчувальної обробки плоских поверхонь деталей [1–3], можемо констатувати, що проблеми динамічного аналізу, обґрунтування параметрів і режимів функціонування, а також імітаційного моделювання роботи вібропритиральних верстатів ще не вирішені у повній мірі. Зокрема, потребують подальшого удосконалення конструкції коливальних систем вібровикінчувальних верстатів [2].

За основу взята тримасова механічна коливальна система вібраційної викінчувальної (притиральної) машини з електромагнітним приводом (рис. 1) [3], яка розроблена з застосуванням теорії синфазних коливань [2]. Конструкція машини складається з верхнього 1 та нижнього 2 дископодібних притирів, встановлених концентрично та паралельно один відносно одного. Коловий електромагнітний віброзбудник розташовується концентрично відносно притирів. Його осердя з котушками 5 симетрично по колу закріплені до нижнього притиру 2, а якорі 4 – закріплені симетрично по колу до кільцеподібної реактивної маси 3. Реактивна маса через пружну систему у вигляді гумових пружних кілець 7 зафіксована до нижнього притиру 2. Пружна система виконана у вигляді одного вертикально розташованого пружного стержня 6, верхній кінець якого через верхній підшипниковий вузол 9 закріплений до порожнистого циліндру 8, на якому встановлений пружно-цанговий вузол 10 з фіксацією до верхнього притира 1. Нижній кінець пружного стержня 6 зафіксовано у нижньому підшипниковому вузлі 11, закріпленому через стакан 12 до нижнього притира 2. Вся конструкція через віброізолятори 13, що кріпляться до нижнього притира 2, опирається на основу. Між притирами встановлюється сепаратор 14 з деталями, що обробляються.

Розглянута конструкція має кілька суттєвих недоліків. По-перше, застосування резонансної пружної системи у вигляді одного вертикально розташованого пружного стержня, що проходить через центральні отвори у верхньому і нижньому притирах, зменшує корисну площу їх робочих поверхонь. По-друге, для покращення параметрів площинності (точності обробки) торцевих поверхонь деталей необхідно збільшувати довжину пружного стержня з метою обмеження впливу його згинальних деформацій на паралельність траєкторій колового руху робочих поверхонь притирів. По-третє,



використання віброізоляторів у вигляді циліндричних пружин, встановлених між нижнім притиром і нерухомою основою вібраційної викінчувальної машини, спричиняє підвищені втрати потужності для подолання додаткового опору руху нижнього притира.

Вказані вище недоліки вдалося усунути у новій конструкції вібраційної викінчувальної машини з електромагнітним приводом, яка зображена на рис. 2. Установка містить дископодібні верхній 1 та нижній 2 притири, встановлені концентрично та паралельно один відносно одного. Коловий електромагнітний вібробудник закріплюється концентрично до нижнього притира 2. Його осердя 3 з котушками закріплені симетрично по колу знизу до нижнього притира 2, а якорі 4 виконують функцію реактивної маси. Остання через пружну систему у вигляді плоских пружин 5 приєднана до нижнього притира 2. Збурюючі зусилля надаються верхньому притиру 1 через горизонтально розташовані циліндричні пружини 6, які одним кінцем впираються у бокову поверхню верхнього притира 1, а другим – в упори 7, закріплені на нижньому притирі 2. Вся конструкція через троси 8, що кріпляться симетрично по колу до нижнього притира 2 підвішена до нерухомої рами 9. Між притирами розміщений сепаратор 10 з деталями, що обробляються.

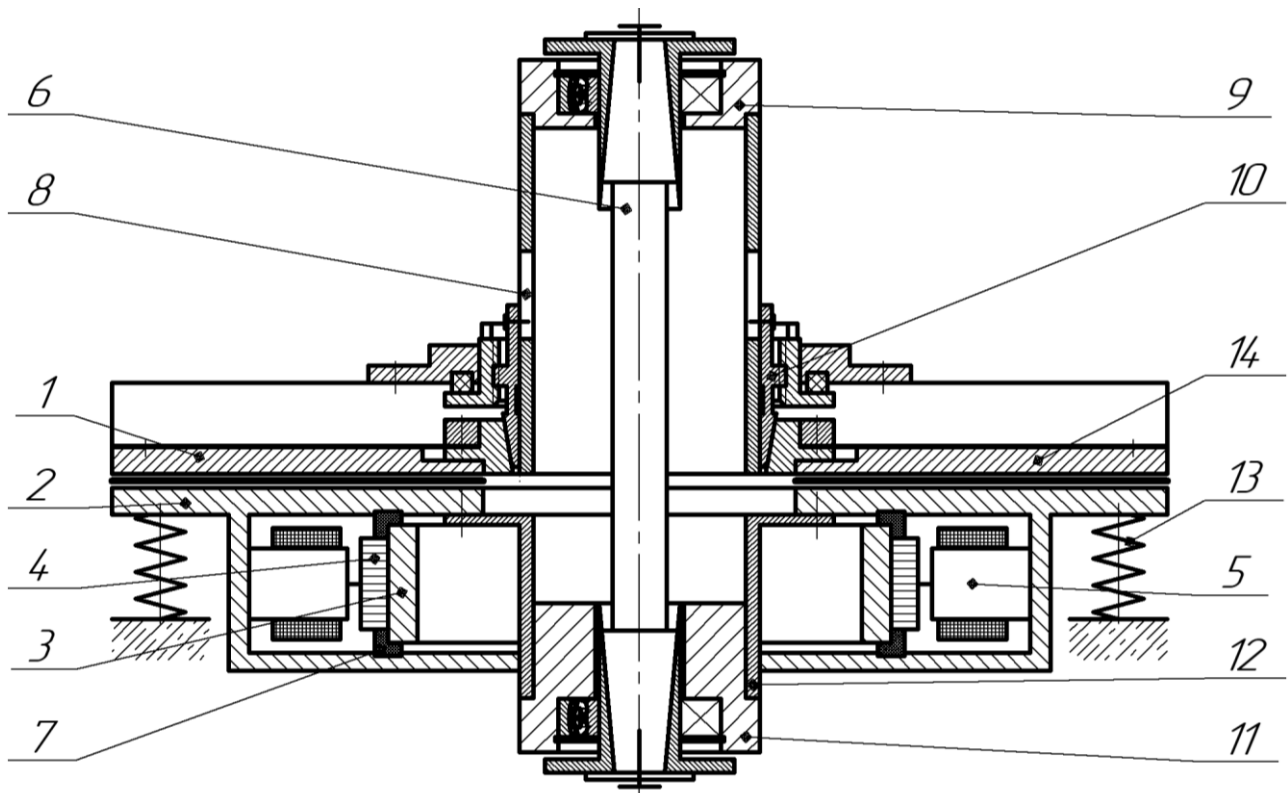


Рис.1. Вібраційна притиральна машина з вертикальною пружною системою

За такої конструкції відсутні вертикальні коливання робочих органів за рахунок відсутності вертикальної пружної системи та віброізоляторів, що обумовлює зменшення споживаної потужності приводу, збільшення корисної



площі робочих поверхонь притирів, спрощення конструкції за рахунок зменшення габаритних розмірів вібровикінчувальної машини та підвищення якості процесу притирання плоских поверхонь деталей та притирів.

У запропонованій конструкції забезпечується плоскопаралельний рух притирів 1 та 2 в горизонтальній площині, а паразитні рухи (кутові коливання тощо) – практично відсутні. Для забезпечення сталого положення центру мас всієї механічної коливальної системи вібровикінчувальної машини між робочими поверхнями притирів, передбачено можливість зміни маси верхнього притира 1 шляхом встановлення додаткових регулювальних дисків 12. Їх використання уможливить забезпечувати рівність величин інерційних значень коливальних мас верхнього 1 та нижнього 2 притирів без необхідності їх попереднього динамічного зрівноважування, адже амплітуди їх колових коливань повинні бути однакові. Пружну систему 5 у вигляді плоских пружин необхідно підбирати якомога м'якшою. В такому випадку динамічний вплив якірної маси 4 на механічну коливальну масу в цілому буде незначний, а тому розрахунок пружної системи 6 можна буде здійснювати за двохмасовою схемою, яку утворюють коливальні маси верхнього 1 та нижнього 2 притирів, з'єднані між собою пружною системою 6.

Динамічні моделі та окремі аспекти розрахунку розглянутих пружних систем вібраційних притиральних машин представлені у публікаціях [1, 2]. У подальших етапах досліджень планується розглянути можливості забезпечення повороту (обертання) сепаратора з деталями в процесі їх фінішної обробки.

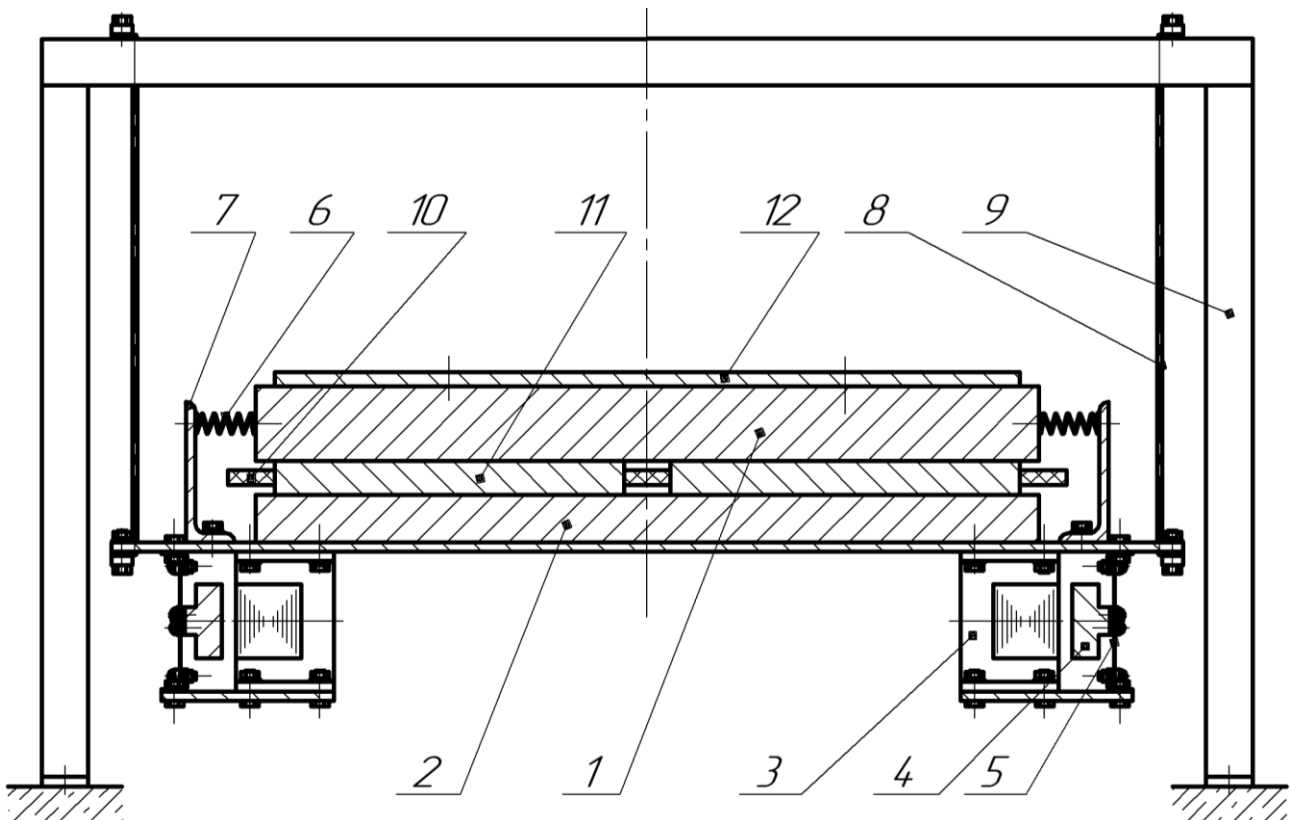


Рис.2. Вібраційна притиральна машина з горизонтальною пружною системою



Література:

1. Kuzio I., Zakharov V., Korendiy V. *Modelling the process of dressing the laps of vibratory finishing machine // Industrial Process Automation in Engineering and Instrumentation.* – 2018. – Vol. 52. – pp. 32–42.
2. Kuzio I., Zakharov V., Korendiy V. *Substantiation of inertial, stiffness and excitation parameters of vibratory lapping machine with linear oscillations of laps // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science.* – 2018. – Vol. 4, no. 2. – pp. 26–39.
3. *Вібраційна викінчувальна машина з електромагнітним приводом : пат. 132950 Україна : МПК В06В 1/02 (2006.01) ; № 201806112 ; заявл. 01.06.2018 ; опубл. 25.03.2019 ; Бюл. № 6 . 5 с.*

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ

Іванов В.О., д.т.н., доцент, Залога В.О., д.т.н., професор, Колос В.О.
Сумський державний університет, м. Суми

У сучасному машинобудуванні основним викликом є суперечність між необхідністю зменшення витрат часу на проектування та виготовлення виробів, конструкції яких постійно ускладнюються, за істотного збільшення їх номенклатури, оскільки сьогодні ринок потребує все більше й більше різновидів однотипної продукції. За останні 15 років номенклатура машинобудівних виробів збільшилася майже у 2,5 рази, при одночасному підвищенні їх складності та зростанні вимог до їх точності й якості, що вимагає того, щоб металообробне обладнання та процеси були більш гнучкими з метою забезпечення конкурентоспроможності виробів, потреб ринку та скорочення витрат часу виходу продукції на ринок [1]. У зв'язку з цим на сьогодні при виготовленні машинобудівної продукції істотно зросла питома вага багатоцільових верстатів у вигляді багатокоординатних обробних центрів із ЧПК [2], спрямованих на інтенсифікацію та автоматизацію виробництва, яка може значною мірою стримуватися при використанні на них конструктивно застарілих (негнучких) верстатних пристроїв (ВП), що потребує значно більшого допоміжного часу у разі зміни координат оброблюваних поверхонь. Саме це обумовлює необхідність розроблення та впровадження в машинобудівній галузі принципово нових конструкторсько-технологічних рішень щодо можливості використання на багатокоординатних обробних центрах та інших верстатах із ЧПК автоматизованого технологічного оснащення для базування, закріплення й орієнтації заготовок у зоні оброблення, забезпечуючи високу якість виробів [3, 4].

У роботі на основі проблемно-орієнтованого аналізу деталей та їх систематизації розроблено конструкторсько-технологічну класифікацію



деталей типу кронштейни, що враховує як конструктивні, так і технологічні аспекти виготовлення деталей, що можуть зустрічатися в автомобілебудуванні.

Запропонований і розроблений структурний код містить конструкторську та технологічну частини, що відрізняє його від існуючих. Він є основою для ідентифікації характеристик конкретної деталі, що підлягає механічному обробленню, та важливим елементом для пошуку альтернативних варіантів компонувань ВП під час автоматизованого проектування. Формалізація процедур кодування дозволила реалізувати процес від конфігурації деталі до компонування ВП.

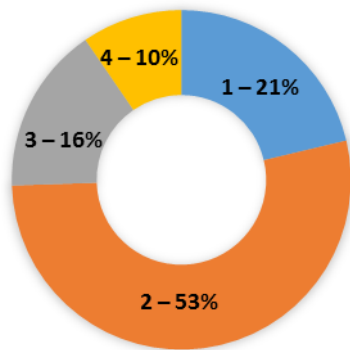
Деталі типу кронштейни характеризуються складною просторовою геометричною формою, що спричиняє певні труднощі під час базування та закріплення заготовок і призводить до збільшення трудомісткості оброблення внаслідок збільшення кількості технологічних операцій.

Досліджено типовий технологічний процес оброблення деталей типу кронштейни, що складається з 13 технологічних операцій і потребує 9 переустановлень заготовки під час виконання свердлильно-фрезерно-розточувальних операцій.

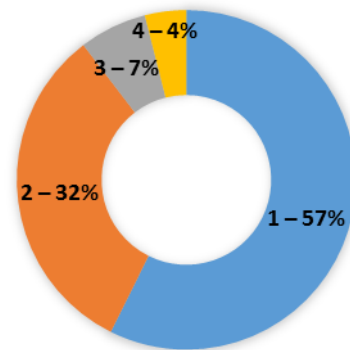
Враховуючи технологічні можливості сучасних багатоцільових верстатів та тенденцію до інтенсифікації процесів механічного оброблення, запропоновано оброблення деталей цього типу здійснювати за один установ шляхом об'єднання операцій 20–50 типового технологічного процесу в одну комплексу на оброблювальному центрі з ЧПК. Такий підхід дозволяє скоротити технологічний процес на 6 операцій механічного оброблення, забезпечуючи зменшення одиниць обладнання з 7 верстатів до одного багатоцільового, а кількості одиниць ВП – із 7 спеціальних до одного гнучкого ВП.

Порівняльний аналіз структур технологічних процесів за трудомісткістю для партії деталей 50 шт. підтвердив, що запропонований технологічний процес забезпечує істотне скорочення непродуктивних витрат часу на виконання свердлильно-фрезерно-розточувальних операцій, зокрема: за допоміжним часом – у 2,7 раза; за додатковим часом – в 10 разів; за часом на відпочинок та особисті потреби – в 12 разів; за підготовчо-завершальним часом – у 3 раза; за штучним часом – в 5,6 раза; за штучно-калькуляційним часом – в 5,3 раза. У структурі норми штучного часу в результаті скорочення непродуктивних витрат часу відбувся перерозподіл, завдяки якому частка основного часу збільшилася з 21 до 57 % (рис. 1).

В умовах багатомономенклатурного виробництва важливо забезпечити ефективність виготовлення деталей для різних партій. Різке підвищення продуктивності оброблення спостерігається за зміни величини партії деталей від 1 до 15 шт., що пов'язано з нормою підготовчо-завершального часу.



а)



б)

Рисунок 1 – Структура норми штучного часу типового (а) та запропонованого (б) технологічних процесів: 1 – основний час; 2 – допоміжний час; 3 – додатковий час; 4 – час на особисті потреби та відпочинок

Оброблення всіх поверхонь на комплексній операції на оброблювальному центрі з ЧПК реалізується в шести позиціях. Для обґрунтування структури операції розроблено граф, що визначає порядок оброблення та взаємозв'язок між оброблюваними поверхнями в різних позиціях оброблення.

Для реалізації схеми базування на комплексній із ЧПК операції запропоновано гнучкий ВП. Особливістю є наявність механізмів регулювання, які дозволяють установлювати деталі, що відрізняються за розмірами, завдяки чому забезпечується гнучкість ВП. Це сприяє використанню запропонованого ВП для встановлення інших деталей типу кронштейни, що мають спільні конструкторсько-технологічні ознаки й належать до цієї розмірної групи. Широка інструментальна доступність забезпечує комплексне оброблення та досягнення точності взаємного розміщення оброблюваних поверхонь. Розроблений гнучкий ВП під час повертання його в різні позиції дозволяє виконати всі свердлильно-фрезерно-розточувальні операції за одного закріплення заготовки.

Аналіз сучасного стану технологічного забезпечення машинобудівного багатомноменклатурного виробництва засвідчив, що в умовах упровадження багатокоординатних обробних центрів необхідно прагнути мінімізації кількості встановлень заготовки, це також сприятиме підвищенню продуктивності оброблення завдяки скороченню непродуктивних витрат часу. Розроблення й упровадження гнучких верстатних пристроїв, здатних забезпечити базування та закріплення деталей широкої номенклатури в певному діапазоні типорозмірів, є ключовим фактором підвищення ефективності оброблення, а отже, сприяє забезпеченню високої якості виробів.



Література:

1. Ivanov V., Dehtiarov I., Pavlenko I., Kosov I., Kosov M. *Technology for complex parts machining in multiproduct manufacturing. Management and Production Engineering Review*, 2019, Vol. 10, No. 2, pp. 25-36, DOI: 10.24425/mp.2019.129566.

2. Zaloga V., Ivanov V., Pavlenko I., Dehtiarov I. *Technological assurance of manufacturing effectiveness on CNC machining centers. In: Karabegovic I. et al. (eds.) Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing*, 2020, DOI: 10.4018/978-1-7998-2725-2.

3. Karpus V., Ivanov V., Dehtiarov I., Zajac J., Kurochkina V. *Technological assurance of complex parts manufacturing. In: Ivanov V. et al. (eds.) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE-2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019. pp. 51–61, DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4_6.

4. Ivanov V., Zajac J. *Flexible fixtures for CNC machining centers in multiproduct manufacturing. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 2018, Vol. 4, Issue 12, e5, DOI: 10.4108/eai.10-1-2018.153552.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ШТАМПІВ ДЛЯ ВИСІКАННЯ РОЗГОРТОК КНИЖКОВИХ ОБКЛАДИНОК

Киричок П.О., д.т.н, професор, Палюх О.О. к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

В сучасному книговидаванні для висікання розгорток книжкових обкладинок і палітурок, використовуються нероз'ємні штанцформи, за допомогою яких можливе виготовлення напівфабрикатів лише з незмінними розмірами. Такі штанцформи широко використовуються і для виготовлення різноманітних паковань [1].

Але, для одного книжкового формату, в різних книгах, може змінюватися кількість зошитів у книжковому блоці, що призводить до зміни ширини корінця книги. При виготовленні обкладинок або палітурок для книг одного формату і змінній ширині корінця, перша і друга сторінки обкладинки залишаються незмінних розмірів, а розмір корінцевої частини змінюється [2].

Таким чином, для висікання розгорток кожної нової обкладинки, або палітурки книги, у якої перша і друга сторінки мають незмінні розміри, а розмір корінцевої частини змінюється – необхідно виготовлювати також і нові висікальні штампи для кожної нової розгортки з іншою шириною корінця.

Для малотиражної та середньо тиражної книжкової продукції однакового формату і змінній ширині корінцевої частини - застосування нових висікальних штамів для кожної зміни розмірів корінцевої частини є значною економічно затратною складовою собівартості виготовлення книг, що впливає на конкурентоздатність такого технологічного процесу [3].

Авторами запропонований пристрій [4], що містить основу із каліброваного листа фанери, або полімерного матеріалу товщиною 15-18 мм, у якому, механічними, або лазерними пристроями утворені наскрізні пазові



отвори, в які вставлені висікальні, висотою 23,8 мм і біговальні, висотою, 23,1-23,6 мм, металеві лінійки, який додатково містить раму з направляючими, основа виконана з двох частин, наскрізні пази утворені у кожній частині основи за контуром половини майбутньої розгортки, при цьому одна частина основи закріплена нерухомо за допомогою чотирьох фіксаторів у направляючих загальної для двох частин основи рами, а друга частина основи виконана з можливістю переміщення у направляючих загальної рами на ширину $L_{зм}$, що залежить від товщини корінця книги, за допомогою гвинтового пристрою, розміщеного на рамі.

У даному технічному вирішенні конструктивні особливості пристрою, для висікання розгорток із паперу та картону книжкових обкладинок і палітурок одного формату зі змінною шириною корінця, не потребують виготовлення нових цілісних штампів, а дозволяють зробити швидке переналагодження для висікання розгорток, у яких змінена ширина корінця від попереднього типу обкладинок до наступного.

Порівняльний аналіз технічного вирішення, що пропонується, з відомими штанцформами, дозволяє зробити висновок, що запропоноване авторами технічне вирішення має суттєві ознаки, які відрізняють його від відомих технічних рішень і обумовлює досягнення поставленого завдання за рахунок створення можливості переміщення другої частини основи штампа у рамі на ширину, що залежить від товщини корінця книги за допомогою гвинтового пристрою, розміщеного на направляючих рами.

Суть і принцип дії запропонованого технічного вирішення пояснюється кресленнями (Рис.1), де подана конструктивна схема пристрою.

В склад пристрою входить: рама з направляючими 1, перша частина основи 2, друга частина основи 3, наскрізні пазові отвори 4 за контуром половини розгортки обкладинки в першій та другій частині основи, висікальні металеві лінійки 5 в першій і другій частині основи, біговальні металеві лінійки 6 в першій і другій частині основи, фіксатори 7 першої частини основи, гвинтовий пристрій переміщення 8 другої частини основи, регульована відстань між основами, що залежить від розмірів корінця книги $L_{зм}$.

Пристрій застосовується, як висікальний інструмент у пресах плоско-паралельної дії площини інструменту до площини паперу, або картону, із яких передбачається висікання розгорток обкладинок [5].

Налаштування пристрою відбувається переміщенням рухомої частини основи в направляючих рами на ширину, що відповідає ширині корінця книги, для якої висікається розгортка обкладинки.

Після налаштування пристрою на висікання тиражу розгортки книжкової обкладинки, пристрій закріплюється на верхній плоскій плиті висікального пресу, яка, разом з пристроєм, під час технологічного циклу, переміщається у нижнє фіксоване положення, в якому відбувається висікання розгорток обкладинки із паперу, або картону.

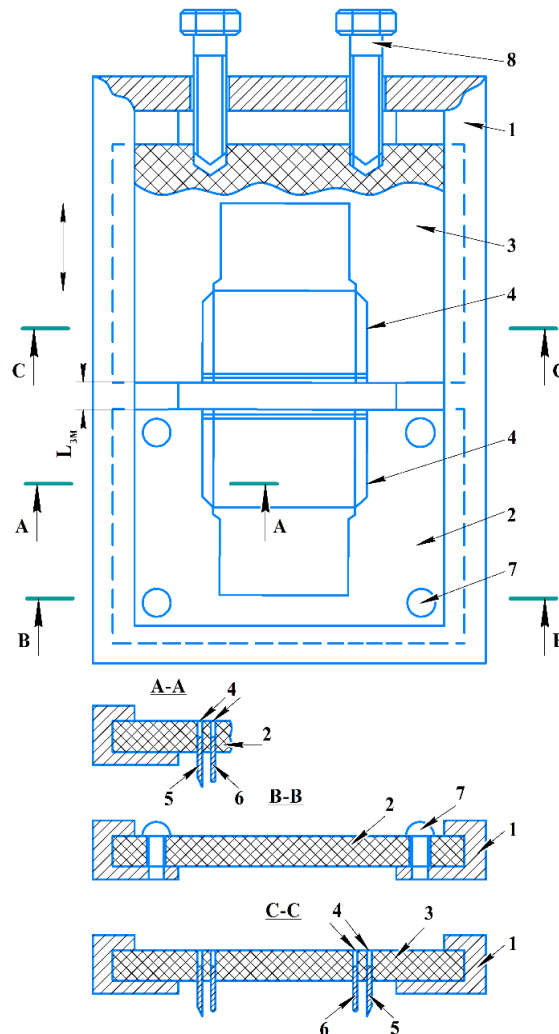


Рис.1. Пристрій для висікання розгортки обкладинок одного формату і змінній ширині корінця

1-рама з направляючими; 2-перша частина основи штампa; 3-друга частина основи штампa; 4-наскрізні пазові отвори; 5- висікальні металеві лінійки; 6-біговальні металеві лінійки; 7-фіксатори; 8-гвинтовий пристрій переміщення; $L_{зм}$ –регульована відстань

Під час холостого ходу плити із висікальним пристроєм у початкове технологічне положення, відбувається заміна висіченої розгортки обкладинки на наступний аркуш паперу або картону. Цикл висікання повторюється на кількість тиражу розгортки обкладинки.

Після завершення висікання одного тиражу розгортки обкладинки, пристрій знімається. За допомогою гвинтового механізму друга частина основи переміщається на розмір, що відповідає ширині корінця нової обкладинки, пристрій закріплюється на верхню плиту висікального пресу і технологічний процес висікання нової розгортки обкладинки відбувається у такий же спосіб.

Представлений пристрій дозволяє здійснювати висікання розгортки із паперу та картону книжкових обкладинок і палітурок одного формату зі



змінною шириною корінця, на відміну від штампів, виготовлення яких буде здійснюватися для висікання розгорток кожної нової обкладинки, при зміні ширини корінця.

Література:

1. Шредер В. Л. Упаковка из картона / Шредер В. Л., Пулипенко С. Ф. – Киев: ИАЦ „Упаковка”, 2004. – 560 с.
2. Палюх О.О. Дослідження конструктивних відмінностей окремих видів напівжорстких обкладинок /О.Палюх// Технологія і техніка друкарства. Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. Вип. 4(62). С.48-59.
3. Пат.134723 України В42D 3/00 Напівжорстка книжково-журнальна обкладинка для криття блоків, підібраних позошитно і прошитих нитками, окантованих і обрізаних з трьох сторін /Киричок П.О., Палюх О.О./ Заявл.16.05.2018; Опубл.10.06.2019. – Бюл. №11.
4. Пат.119418 С2 України В42D 3/00 Пристрій для висікання розгорток із паперу та картону книжкових обкладинок і палітурок одного книжкового формату / Киричок П.О., Палюх О.О./ Заявл.16.05.2018; Опубл.10.06.2019. – Бюл. №11.
5. Производственные линии SPO 1600, 2000 для печатания и высекания упаковок из гофрированного и комбинированного картона. Проспект фирмы БОБСТ, Лозанна, №8701.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ДІЛЯНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ З ПОШКОДЖЕНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ І КОРОЗІЙНИМИ ДЕФЕКТАМИ

**Кичма А.О., к.т.н., доцент, Новіцький Ю.Я., к.т.н., старший викладач,
Предко Р.Я., к.т.н., старший викладач**
Національний університет «Львівська політехніка»

Під час тривалої експлуатації магістральних трубопроводів (МТ), на їх потенційно небезпечних ділянках трапляються пошкодження ізоляційного покриття та корозійні виразки і гострокінцеві дефекти металу труби. Згідно з нормативними вимогами [1], періодично проводяться діагностичні обстеження з оцінки технічного стану МТ. Визначення будівельних і експлуатаційних дефектів МТ тривалої експлуатації за допомогою внутрішньотрубної діагностики (ВТД) є найбільш вірогідним і ефективним методом оцінки їх технічного стану [2]. Безумовною перевагою ВТД є велика швидкість проведення діагностики і можливість 100 % контролю трубопроводу на усій його довжині. Останнім часом широко застосовуються методики з забезпечення цілісності трубопроводів на основі РРІМ та ІІІ технологій [3].

У зв'язку з особливим розташуванням вузлів пуску і прийому поршнів мінімальна ділянка ВТД МТ, зазвичай, рівна відстані розташування між двома компресорними чи насосними станціями (70–180) км. Відносно невеликі ремонтні потужності трубопровідних підприємств, а часом і неможливість припинення транспортування продукту, не дозволяють оперативно провести



ремонт усіх виявлених ВТД дефектних ділянок. У такому випадку на основі існуючих нормативних документів і методик [2, 4] необхідно провести ранжування виявлених дефектів на обстеженій ділянці МТ і встановити черговість проведення ремонтних робіт у залежності від небезпеки їх подальшої експлуатації.

Для корозійних дефектів і ділянок із суттєво зменшеною товщиною стінок труби оцінку їх міцності проводимо методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Solid Works-Simulation. Коефіцієнти запасу міцності ділянок МТ з гострокінцевими дефектами за статичного навантаження знаходимо використовуючи діаграму оцінки руйнування (ДОР), яка є граничною кривою, що визначає границю міцності між безпечним та небезпечним станами ділянок трубопроводів. ДОР ґрунтується на двокритеріальному підході і дозволяє одночасно аналізувати два граничні стани – крихкий та в'язкий [4, 5]

$$Y = f(S_r, K_r). \quad (1)$$

Параметри S_r та K_r визначають із співвідношень

$$K_r = K_1 / K_{1c}, \quad (2)$$

тут K_r – характеризує міру наближення до крихкого руйнування в деякій точці у зоні тріщиноподібного дефекту, K_1 – розрахунковий коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), K_{1c} – критичне значення КІН.

$$S_r = \sigma_{ref} / \sigma_B, \quad (3)$$

де S_r – оцінює міру наближення до в'язкого руйнування, σ_B – границя міцності, σ_{ref} – довідкове напруження. За результатами проведених розрахунків, виявлених ВТД небезпечних ділянок МТ, вибираємо раціональну технологію ремонту тіла труби, що дозволить продовжити подальшу безпечну експлуатацію МТ.

На основі патенту [6] і сучасних технологій інженерії поверхні запропоновано вдосконалений спосіб ремонту розмитої підводної ділянки МТ. В залежності від характеру і об'єму пошкодженої ізоляції та розмірів корозійних чи гострокінцевих дефектів на ділянці труби вибираємо спосіб її ремонту. Запропонована конструкція композитного ізоляційного покриття МТ на ділянці підводного переходу показана на рис. 1. Ця конструкція включає такі складові: 1 – шар клею «СПРУТ 12-В», або клею «КОУЛТЕКС-ПР»; 2 – армоване скловолоконне полотно марки ПФН-850Е; 3 – поліетиленова стрічка ЛПДЛ з адгезійним підшаром. Очищення тіла труби МТ від залишків старої ізоляції та продуктів корозії, проводять піскоструменевим шляхом і вручну з застосуванням щіток та скребків. Ступінь очищення поверхні ділянки МТ перед нанесенням нового ізоляційного покриття повинен відповідати технічним умовам на покриття, що застосовується.

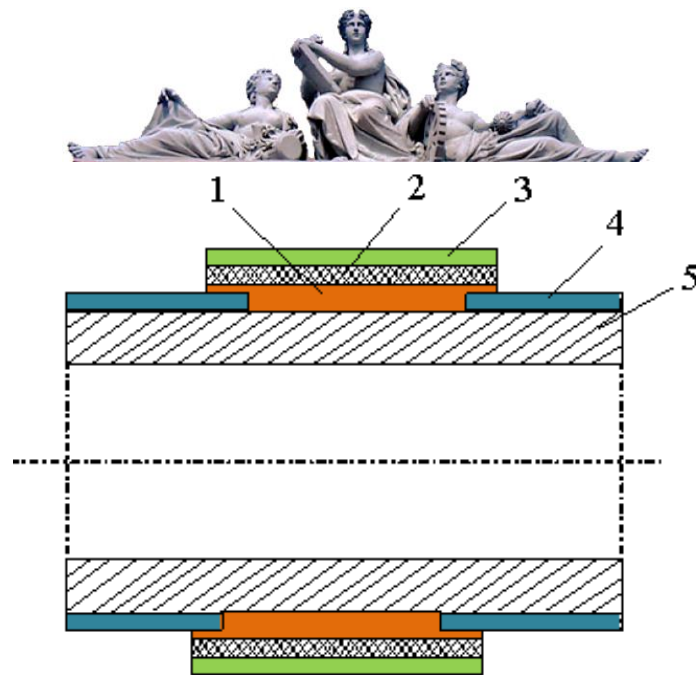


Рис. 1. Конструкція композитного ізоляційного покриття трубопроводу на ділянці підводного переходу: 1 – шар клею; 2 – армоване скловолоконне полотно; 3 – поліетиленова стрічка ЛПДЛ з адгезійним підшаром; 4 – існуюча ізоляція; 5 – ділянка МТ

Для кращого захисту ділянки трубопроводу з установленою конструкцією композитного ізоляційного покриття встановлюють підсилюючу муфту (рис. 2), яка включає розпірні кільця 1, на які накладають бандаж 2 у вигляді відкритої незамкнутої циліндричної оболонки з отвором і з поздовжньою підкладкою 3. Причому поздовжні довжини незамкнутої оболонки і поздовжньої підкладки рівні, а різниця між їх внутрішніми радіусами кривини рівна товщині стінки поздовжньої підкладки. Торці бандажа заглушують двома півкільцями 4 з отворами, і за допомогою хомутів 5 і 6, попередньо затягують незамкнуту циліндричну оболонку з поздовжньою підкладкою.

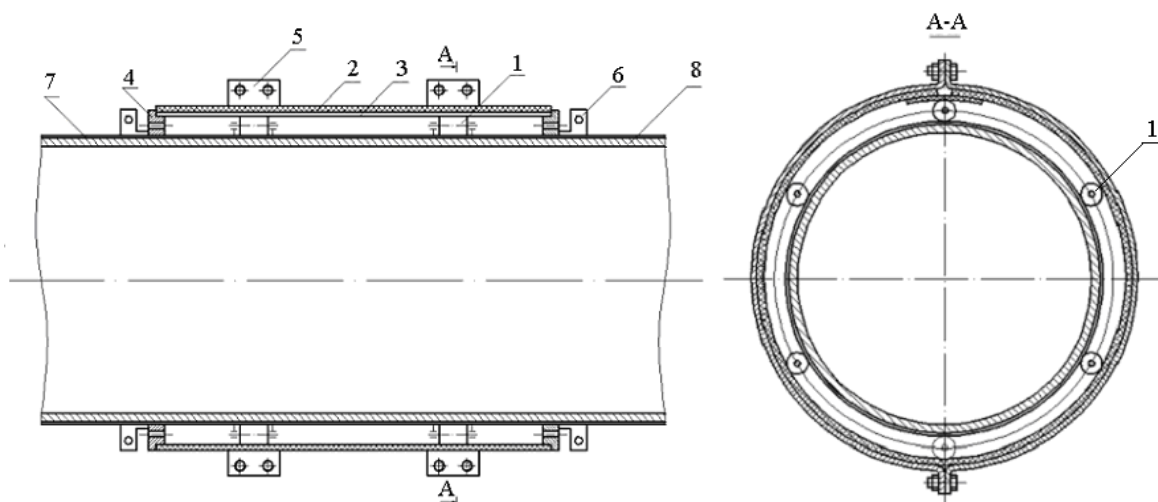


Рис. 2. Установка підсилюючої муфти на пошкодженій ділянці МТ



Через отвір в циліндричній поверхні оболонки подають в'язучу композицію на основі портландцементу до повного заповнення міжтрубного простору, а саме до витoku його з отворів, що є в бокових півкільцях 4. Витримують до схоплення в'язучої композиції, після чого дотягують хомути 5 і 6. До в'язучої композиції входить алюмінат натрію, що має добрі антикорозійні властивості.

Запропоновану технологію ремонту вигідно застосовувати для важкодоступних ділянок МТ під'їзд підйимальної техніки до яких вимагає тривалого і дорогого облаштування під'їзних шляхів. Для кожного конкретного випадку за допомогою програмного забезпечення, яке створене на основі методу скінченних елементів проводяться розрахунки на міцність та жорсткість і оптимізація напружено-деформованого стану відремонтованої ділянки МТ, елементів конструкції композиційного ізоляційного покриття та деталей муфти.

Література:

1. СОУ 60.3-30019801-067:2009. Стандарт організації України: Магістральні газопроводи. Оцінка фактичного технічного стану потенційно небезпечних ділянок. Методи і методики. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2009. – 188 с.
2. Положення про аналіз внутрішньотрубної діагностики магістральних газопроводів ДК «Укртрансгаз» та організацію виконання ремонтних робіт з усунення дефектів. – ДК «Укртрансгаз», – Київ, 2009. – 31 с.
3. O'Brian J., Moran S., Kirkwood M. *Impact of crack profiles on pipeline integrity: advancing assessments with new ILI capabilities system // Pipelines international*. – Issue 32. – 2017. – P. 22 – 25.
4. ДСТУ–НБВ.2.3–21:2008. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 88 с.
5. API 579. *Fitness-For-Service, API Recommended Practice 579, First Edition, American Petroleum Institute*. – 2000. – 625 p.
6. Пат. № 10362 Україна, МПК (2005) кл. 7 F16L55/175, C04B28/04, C04B28/22. Процес ремонту ділянок трубопроводу / Беккер М. В., Савула С. Ф., Банахевич Ю. В., Ганін О. В., Ганіна О. В., Кичма А. О., Педько Б. І. – 3 с. 15.11.2005. Бюл. №11, 2005.



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ОБОРОННОГО ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Ковальов В.Д., д.т.н., професор, Васильченко Я.В., д.т.н., доцент,
Хорошайло В.В., к.т.н., доцент, Шаповалов М.В., к.т.н., асистент,
Нестеренко В.М., аспірант**

Донбаська державна машинобудівна академія м. Краматорськ

Обробка деталей оборонного та енергетичного призначення з високоміцних матеріалів є дуже складною проблемою, яка потребує створення нових спеціальних верстатів та інструментів. Посилюються вимоги до процесів виготовлення, підвищується точність, застосовуються нові марки матеріалів, які дають можливість досягнення нового рівня експлуатаційних характеристик. Багато деталей можуть бути вироблені на вітчизняних підприємствах, що посилить не тільки оборонну та енергетичну галузі, а ще і призведе до зростання обсягів машинобудування.

Можливість виготовлення деталей оборонного та енергетичного призначення забезпечується оснащенням машинобудівних підприємств сучасним верстатним обладнанням та різальним інструментом. В даний момент процеси обробки таких виробів є недостатньо ефективними. В Україні є виробництво надтвердих інструментальних композитів з кубічного нітриду бору. Володіючи рядом унікальних механічних і теплофізичних параметрів, інструменти з КНБ дозволяють здійснювати обробку важкооброблюваних матеріалів зі швидкістю різання до 10 разів вище в порівнянні з кращими (в тому числі зарубіжними) зразками твердосплавного інструмента, забезпечуючи при цьому високу якість обробки і зберігаючи різальну здатність на протязі тривалого періоду часу. Однак застосування таких різальних пластин на етапі чорнової обробки при точінні великогабаритних виробів не завжди можливо. Досвід обробки великогабаритних деталей показує, що для ефективного застосування в даних умовах надтвердих інструментальних матеріалів вимагає від верстата високої геометричної, статичної та динамічної жорсткості та температурної стабільності.

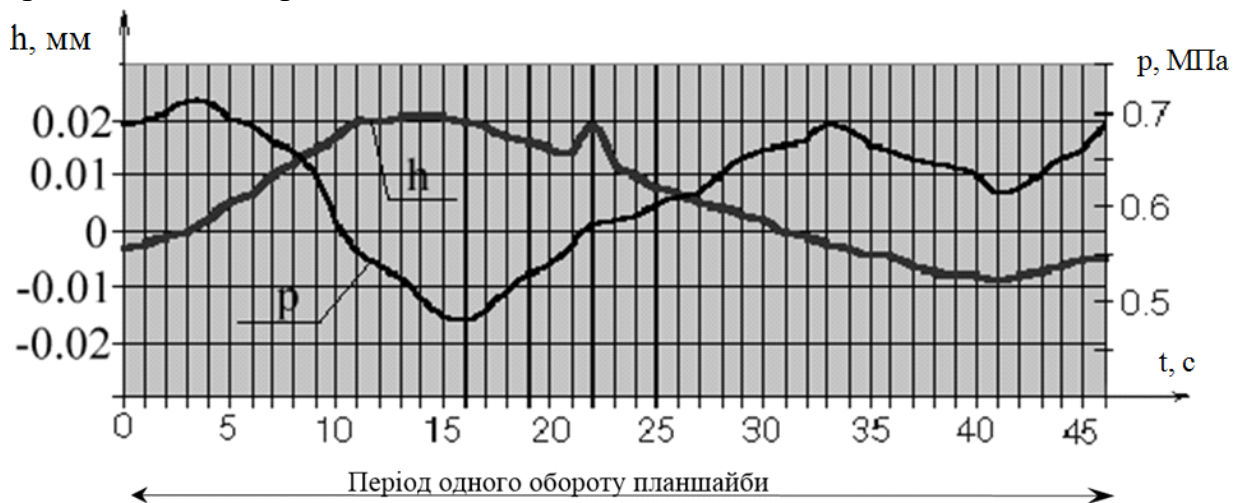
Одним із способів досягнення цих вимог застосування в конструкціях верстатів гідростатичних опор рідинного тертя. Вони мають високі демпфуючі властивості, майже повну відсутність зносу, здатність згладжувати неточності форми поверхонь опори, сприймати навантаження в широкому діапазоні, працювати на будь-яких швидкостях. І, що дуже важливо для важкого верстатобудування - це можливість застосувати опори рідинного тертя у вузлах верстатів, реалізувати які іншим способом украй складно.

Дослідження проводилися на прикладі гідростатичного вертлюжного супорту важкого токарного верстату мод.КЖ16234.

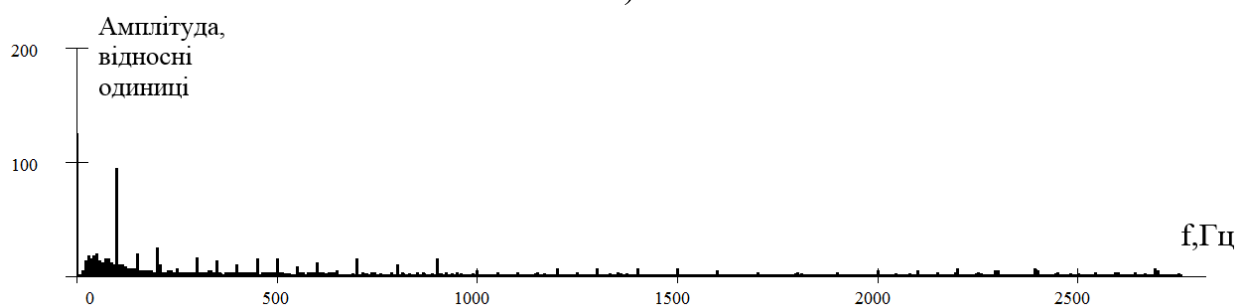


В ході випробувань проводилися виміри вібрацій, що виникають в процесі роботи верстату на різних його частинах. Так само вимірювалася зміна проміжку в гідростатичній опорі і тиск в кишені; точність обробки шийки колінвалу.

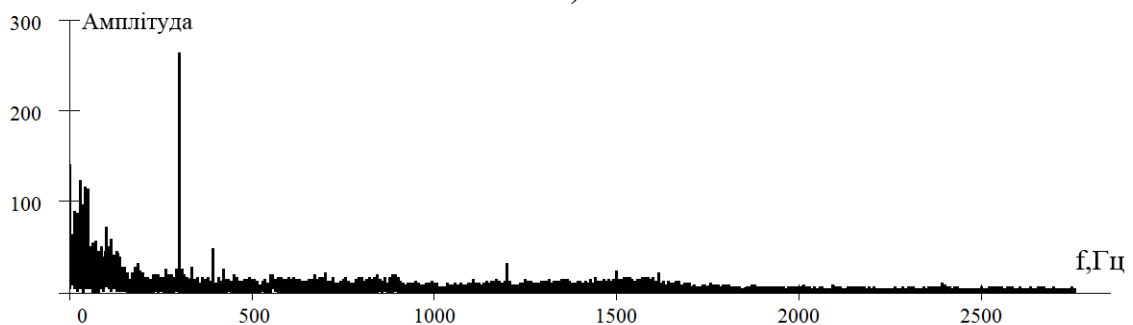
На рисунку зображені амплітудно-частотні характеристики, отримані методом Фур'є – перетворення зміни амплітуди коливань за часом за допомогою пакету MatCad на корпусі і на планшайбі відповідно. Виявлено різке зниження амплітуди коливань на корпусі відносно джерела коливань – різального інструменту, тобто планшайби вертлюга. Це свідчить про те, що вібрації, які виникають в зоні різання не впливають на роботу інших вузлів верстату і навпаки, вібрації інших вузлів верстату не впливають на якість обробки. Це дозволяє зробити висновок про високу демпфуючу здатність гідростатичної опори.



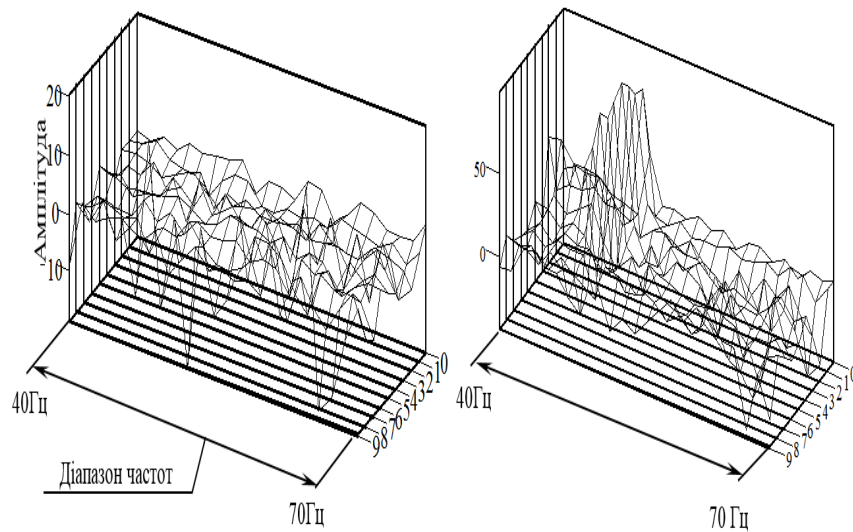
а)



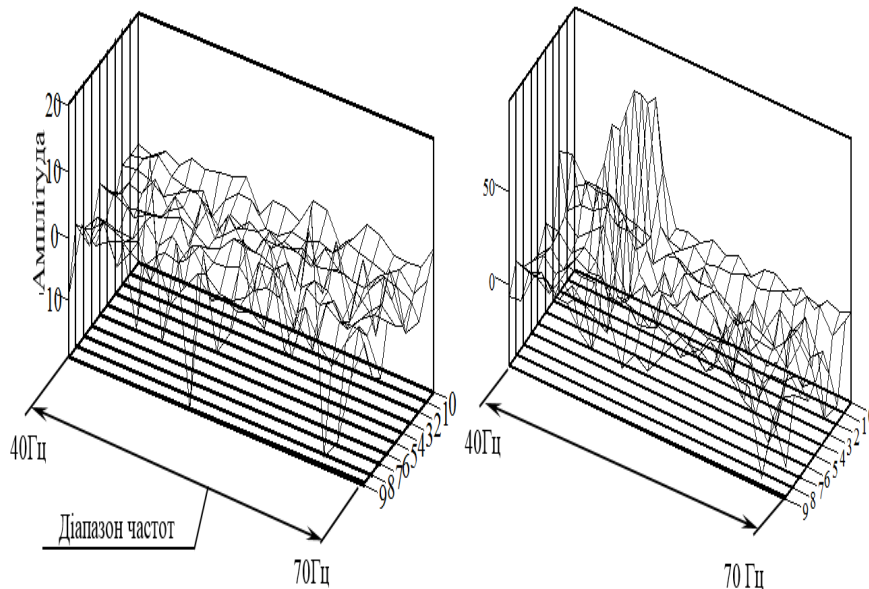
б)



в)



г)



д)

Рис.1. Результати експериментальних досліджень:

- а) осцилограма зміни тиску в основній кишні р1 і радіального биття опорної поверхні планшайби h;*
- б) амплітудно-частотна характеристика, виміряна на корпусі вертлюга;*
- в) амплітудно-частотна характеристика, виміряна на планшайбі в місці кріплення інструменту;*
- г) спектр коливань корпусу вертлюга з розгорткою по часу;*
- д) спектр коливань планшайби з розгорткою по часу.*

Результати досліджень використано при розробці важких верстатів нового покоління на ПрАТ КЗВВ. Досягнуто підвищення продуктивності та точності обробки виробів оборонного та енергетичного призначення з високоміцних матеріалів.



ТЕПЛОНАПРУЖЕНІСТЬ ПРОЦЕСУ ТА ДИНАМІКА ПЕРЕРИВЧАСТОГО ЗУБОШЛІФУВАННЯ ЗА РАХУНОК ФОРМОУТВОРЕННЯ КРУГА

¹Ковальов В.Д., *д.т.н., професор*, ²Клочко О.О., *д.т.н., професор*,
¹Васильченко Я.В., *д.т.н., доцент*, ²Анциферова О.О., *к.т.н. старший
викладач*, ¹Шаповалов М.В., *к.т.н., асистент*.

¹Донбаська державна машинобудівна академія

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

Переривчасте шліфування застосовується для зменшення нагрівання поверхні, що шліфується за рахунок періодичного переривання її контакту з кругом. Контакт при шліфування здійснює зміни від шліфування до різання за рахунок наявності різальних крайок формоутворення круга. Схема переривчастого шліфування показана на рис. 1. За рахунок різальних кромки забезпечується імпульс енергії зйому метала та зменшення температури у зоні контакту шліфувального круга та зубчастого колеса, зменшення засалювання шліфувального круга.

За висотою зуба буде змінюватися і процес переходу абразивного шліфування $L_i = (\varphi_{окр} - l)$ в швидкісне фрезерування. Коли $L_i = l_i$ виступ кола повністю перекриває дугу контакту L , то «жорсткість» процесу шліфування дорівнює C , а коли контакт круга із заготовкою переходить у процес швидкісного фрезерування, буде зниження у формі кишені з кутом $\lambda=70^\circ$, довжиною l_i , то C буде зменшуватися до 50%. Таким чином, «жорсткість» процесу шліфування періодично змінюється.

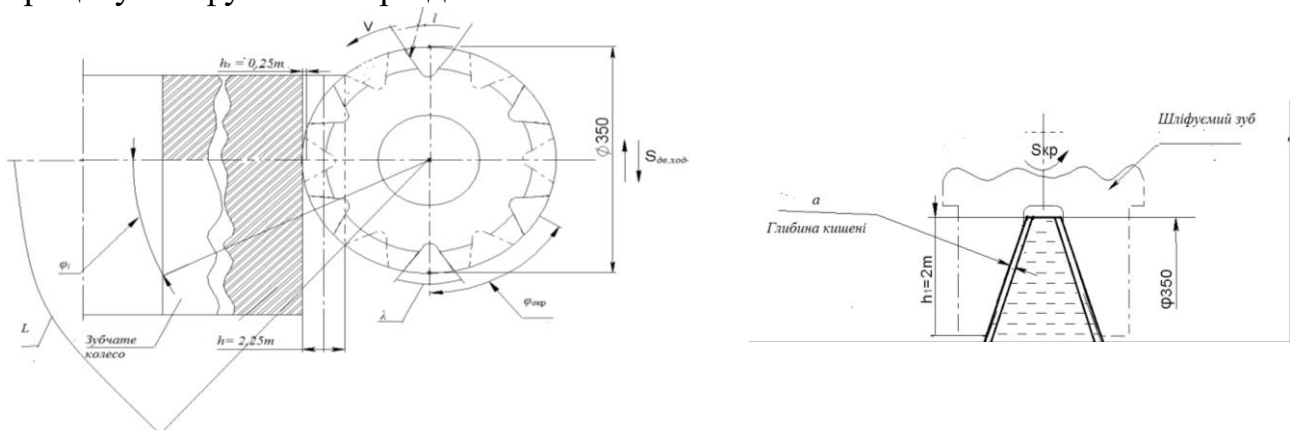


Рис. 1 – Схема переривчастого зубошліфування з формою кишеней типу V з двостороннім кутом $\lambda=70^\circ$; кількість кишеней Z розташованих у шахматному порядку з двох сторін, щоб забезпечити міцність круга

При шліфуванні, коли тривалість перехідної фази становить значну частку від тривалості фаз $C(t) = C$ і $C(t) = 0,5C$, раціонально представити залежність $C(t)$ у вигляді гармонійної функції (рис. 2):

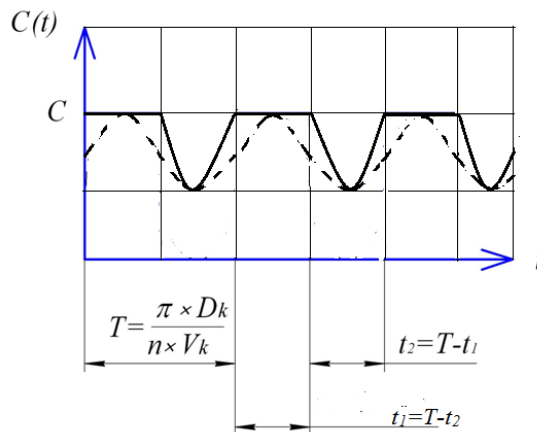


Рис. 2 – Модель зміни жорсткості процесу переривчастого шліфування $C(t)$

При розгляді зв'язків між елементами динамічної системи переривчастого шліфування приймаємо як очевидний факт, що сталий процес переривчастого шліфування – це шліфування з середньою глибиною h_3 і періодичними відхиленнями від неї. Тому в якийсь момент часу вхідним сигналом в динамічній системі переривчастого шліфування може бути середнє значення глибини шліфування h_3 , і ця глибина задається налаштуванням верстата, що забезпечує середнє значення натягів пружин, які з'єднують заготовку і коло зі станиною (рис. 3), тобто при середньому значенні сили P_y . Уривчастість контакту круга із заготовкою викликає відхилення натягів пружин від їх середніх значень.



Рис. 3 – Функціональна схема замкнутої динамічної системи переривчастого шліфування

Розглянуто мить часу, коли натяг пружин збільшується, тобто росте сила P_y , і відповідно зростають деформації пружин, тобто переміщення x_1 і x_2 . Загальна сумарна їх деформація $x_3 = x_1 + x_2$. Процес шліфування перетворює h_3 в силу P_y , яка, в свою чергу, переміщує коло і заготовку на x_1 і x_2 відповідно. Тобто функціонує замкнута динамічна система переривчастого шліфування.

Таким чином, після розрахунку частоти коливань для умов визначення резонансу визначається циклічна частота власних коливань елементами технологічної системи. В результаті частота вимушених коливань не знаходиться в резонансній зоні, тобто вона менше власних коливань шліфувального круга і заготовки, що відповідає умовам стабільного процесу зубошліфування.



ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЇ ЖОРСТКОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ЇХ ЗНИЖЕННЯ У ПРОЦЕСІ КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

¹Кононенко С.М., *аспірант*, ¹Добротворський С.С., *д.т.н., проф.*, ¹Басова Е.В., *к.т.н., доц.*, ¹Добровольська Л.Г., *к.т.н., доц.*, ²Едл М., *Ph.D*

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

²Західночеський університет в Пльні (*University of West Bohemia*), Чехія

Основними бар'єрами процесу формоутворення елементів деталей малої жорсткості є складність прогнозування і запобігання виникаючих відхилень. Найбільшими чинниками відхилень є: складові сили різання та їх вплив на поверхню, зростаючі коливання, висока температура в зоні обробки.

Об'єктом дослідження є зразок тонкостінного елемента авіаційної лопатки з алюмінієвого сплаву, який характеризується нерівномірним розподілом жорсткості. Схема методології дослідження відхилень складається з декількох взаємопов'язаних етапів:

- динамічний аналіз складових сили різання, дозволяє отримати спрямовану силу, яка діє на поверхню;
- величина спрямованої сили застосовується у статичному аналізі для оцінки ступенів відхилень критичних точок зразка;
- модальний аналіз дозволяє отримати природну частоту зразка. Якщо частота зовнішньої циклічної спрямованої сили збігається з природною частотою, виникає резонанс, та амплітуда коливань збільшується;
- гармонічний аналіз відгуку дає можливість спрогнозувати динамічну поведінку системи, отримати залежності амплітуди коливань від частоти, перевірити чи зможе зразок подолати резонанс.

Таким чином, взаємодія фрези, що обертається з певною частотою та поверхні елемента малої жорсткості може бути розглянута як механічна система з циклічним навантаженням.

На основі зазначеної методики виконана оптимізація технологічних параметрів процесу кінцевого фрезерування. Проведено аналіз та порівняння залежності амплітуди коливань від частоти обертання фрези для звичайного та високошвидкісного фрезерування з оптимізацією технологічних параметрів – враховано зниження сили різання при зростанні числа обертів інструменту, збільшено кількість ріжучих зубів кінцевої фрези. В результаті оптимізації спостерігалось значне падіння амплітуди коливань зразка.

Розглянута можливість використання допоміжного керованого потоку рідини під високим тиском, який у процесі обробки спрямований на поверхню елемента деталі малої жорсткості. Інтерес представляє ступінь впливу потоку рідини на частотну характеристику системи інструменту-деталі. Методика теоретично не змінює характеристики та розмірні параметри обладнання.



МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ СТАТИЧНОЇ ТОЧНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОДАЧ КОНСОЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

¹Кривий П. Д. к. т. н., професор, ¹Кобельник В. Р. к. т. н., доцент,

¹Крупа В. В. к. т. н., доцент, ²Тимошенко Н. М. к. ф.-м. н., доцент

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Національний університет «Львівська політехніка»

Проаналізовано відомі методи оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач токарних [2], свердлильних [1] і широкоуніверсального інструментального фрезерного верстата моделі 676 [3]. Враховано, що кінематика цих верстатів (головний рух – D_r і допоміжний рух подачі – D_s) забезпечується одним електродвигуном.

Враховано, що у консольних фрезерних верстатах, наприклад, моделі 6P13; 6Д82 та інших – головний обертовий рух шпинделя – D_r і рух подачі D_s забезпечується електродвигунами відповідно M_1 , M_2 з різними потужностями $N_1 > N_2$, частотами обертання $n_1 > n_2$, та різними коефіцієнтами ковзання $k_1 \neq k_2$.

Тому створення методу оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач, врахування її стохастичності для консольних фрезерних верстатів є актуальною задачею.

Суть запропонованого методу пояснюється поданим рисунком.

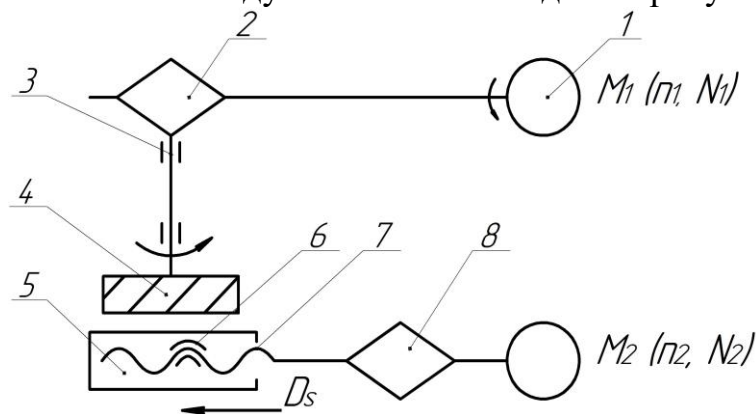


Рис. 1. Структурно-кінематична схема консольного вертикально-фрезерного верстата: 1 – електродвигун головного руху; 2 – коробка швидкостей; 3 – шпиндель; 4 – фреза; 5 – стіл; 6 – гайка; 7 – гвинт; 8 – коробка подач; 9 – електродвигун допоміжного руху D_s .

Для конкретного випадку розраховують швидкість різання – V_p , частоту обертання шпинделя $n_{р шп}$ та хвилину подачу $S_{р мм/хв}$, коректують за паспортом верстата і встановлюють дійсні значення відповідно: $n_{шп}$ і $S_{мм/хв}$. Взявши до уваги, що $n_2 < n_1$ і $N_2 < N_1$ визначають передаточне число



$i_m = n_1/n_{\text{шп}}$ та кут повороту ротора електродвигуна φ_1 при якому шпindelь здійснює 1 повний оберт.

Маючи встановлене значення повздовжньої хвилинної подачі $S_{\text{хв}}$ і подачу за один оберт шпинделя $S_0 = S_{\text{хв}}/n_{\text{шп}}$ визначають кут повороту ротора φ_2 за формулою $\varphi = \frac{360 \cdot n_1^2}{n_{\text{шп}} \cdot n_2}$, при якому стіл верстата переміщують на величину подачі на 1 оберт стола.

Перемістивши стіл верстата, наприклад, у праве крайнє положення і встановивши на ньому цифровий індикатор, щуп якого є у контакті з фрезерною голівкою і здійснивши поворот ротора електродвигуна M_2 на декілька обертів (щоб вибрати зазори у зачепленнях спряжених елементів кінематичного ланцюга), шкалу індикатора встановлюють на «0» а кутове положення статора цього електродвигуна фіксують. Ротор електродвигуна M_2 повертають на кут φ і фіксують індикатором це переміщення, яке дорівнює подачі на 1 оберт шпинделя. Повторивши аналогічно цей прийом 9 разів отримують 10 значень подач на один оберт шпинделя. Використавши критерій W [4], підтверджують, що подача на 1 оберт шпинделя підкоряється нормальному закону розподілу.

Після цього стіл верстата переміщують на віддаль $l_{\text{ст}} = 0.1L_x$, тут L_x – величина ходу стола і повторяють аналогічно вищеописані прийоми і одержують другу вибірку із 10–м значень подач на 1 оберт шпинделя. Повторивши ці прийоми ще 8 разів отримують 10 малих вибірок

Визначивши критерій Гребса [5] перевіряють на однорідність значень у вибірці, а за методом ітерацій [6] визначають вибіркові математичні сподівання $M(S_{oj})$ та дисперсії $D(S_{oj})$ і за критерієм Стюдента t_k і Фішера F перевіряють на суттєвість відмінностей.

Отримані вибіркові значення $M(S_{oj})$ та $D(S_{oj})$ приймають їх як випадкові величини і за цим же методом ітерацій визначають узагальнюючі значення $M(S_o)$ і $D(S_o)$ які є оцінками точності кінематичних ланцюгів.

Література:

1. Кобельник В. Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий / (процеси механічної обробки в машинобудуванні збірник праць.)
2. Крупа В. В. Вплив випадковості подач на висоту мікронерівностей поверхні при точінні, або розточуванні / П. Д. Кривий, Н. М. Тимошенко, М. В. Шарик, В. В. Крупа / Львів: / Машинознавство, 2013. - №9-10 (195 – 196). – С. 76 – 83.
3. Лось І. Г. Імовірно-статистичний метод визначення точності кінематичних ланцюгів подач фрезерного верстата моделі 676 // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів., (27-28 листопада, 2019р. м. Тернопіль). – 2019 – с. 110 – 111.
4. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах. Перевел з англ. / Г. Хан, С. Шапиро, Москва: «Мир», 1969. – 395 с.



5. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер, Киев: «Техніка», 1976. – 200 с.

6/ Kryvyu P. Technological heredity and accuracy of the cross-section shapes of the hydro-cylinder cylindrical surfaces / P Kryvyu, V. Dzyura, N. Tymoshenko, V. Krupa // Canadian Journal of Science, Education and Culture / "Toronto Press". – Toronto, 2014. No.2. (6), (July – December). Volume I/ - p.301-310.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ НА РИЗИКИ СПОЖИВАЧА І ВИРОБНИКА ПРИ КОМПЛЕКТУВАННІ З'ЄДНАНЬ

Купріянов О.В., д.т.н., доцент

Українська інженерно-педагогічна академія

Присутність ненульової похибки вимірювання приводить до того, що можливий перехід придатних деталей у браковані, а бракованих у придатні. Це явище спричиняє появу так званих ризиків виробника і споживача [1]. Під ризиком виробника розуміється ймовірність того, що придатні деталі перейдуть у браковані. Під ризиком споживача розуміється ймовірність того, що браковані деталі перейдуть у придатні.

Складальна одиниця може бути визнана придатною, якщо величина зазору або натягу перебуває в межах допуску. Розглянемо вплив похибки вимірювального приладу на точність з'єднання типу «вал-отвір».

Рішення завдання виконане для комплектування з повною взаємозамінністю [2]. Для одержання значень ризиків виробника й споживача було проведено статистичне моделювання. Закони розподілу розмірів деталей і похибки вимірювання були прийняті нормальними. Похибки форми деталей не враховувалися.

1. Комплектування з повною взаємозамінністю

При комплектуванні з повною взаємозамінністю деталі попадають у комплекти випадковим чином. Тому при моделюванні комплект визнавався придатним, якщо розміри вала й отвору одночасно знаходяться в межах допусків [3]. Моделювання було виконано для посадки із зазором $\text{Ø}150 \text{ E9/h8}$, середні значення розмірів вала й отвору прийняті відповідно $d_s = 149,9685 \text{ мм}$ і $d_o = 150,135 \text{ мм}$, допуски виготовлення вала й отвору $T_s = 0,063 \text{ мм}$ і $T_o = 0,01 \text{ мм}$, похибки вимірювання розміру вала й отвору δ змінювалися в інтервалі від $0,001 \text{ мм}$ до $0,1 \text{ мм}$. Як ризик споживача визначався відсоток комплектів, які не відповідали параметрам з'єднання (розміри однієї або обох деталей не попадали в поле допуску), але за рахунок похибки виміру вони потрапили до придатних. Як ризик виробника визначався відсоток комплектів, деталі в яких по своїх дійсних розмірах були придатними, однак за рахунок похибки виміру були визнані бракованими.



Отриманий у результаті моделювання ризик P виробника у відсотках показаний на рис. 1 а), крива и1, ризик споживача на рис. 1 б), крива п1. Як видно із графіків, зі збільшенням похибки приладу відбувається ріст відповідних ризиків. Це пов'язане зі зростанням імовірності взаємного переходу придатних деталей у браковані і бракованих до придатних. Імовірність переходу придатних деталей у браковані значно вище при однаковій похибці вимірювання. Якщо при похибці вимірювального приладу $\delta = 0,01$ мм ризик споживача $P_{II} = 0,033$ %, те відповідний ризик виробника $P_{I} = 0,28$ %.

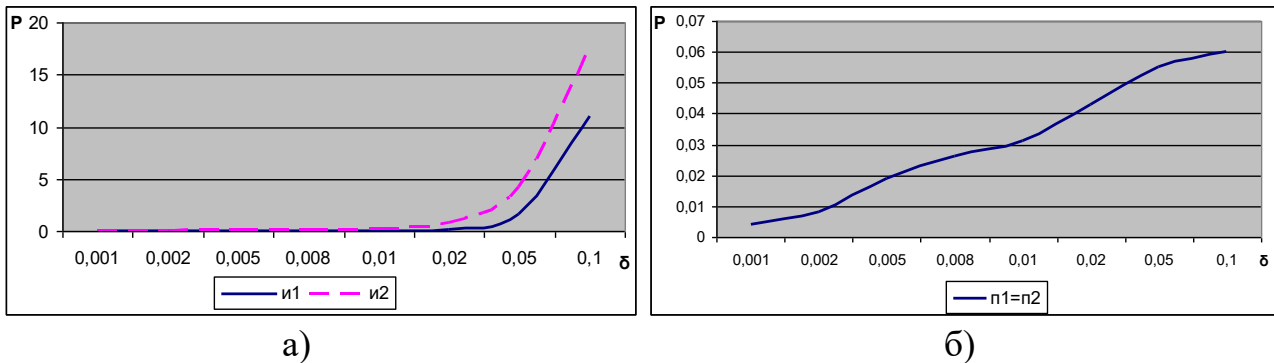


Рис.1. Ризики при комплектуванні з повною взаємозамінністю

Зниження ризику споживача має першочергове значення. Разом з тим підвищення точності вимірювального приладу, що дозволяє зменшити ризик, для вимірювання всіх деталей не виправдано економічно, крім того, більше точний контроль вимагає більших витрат часу. Тому рекомендується двоступінчастий контроль: на першому етапі придатними визнаються деталі, які потрапили в більше вузький діапазон розмірів, чим потрібно для посадки, а потім відбраковані деталі переіраються більше точним приладом і частина з них повертається в придатні.

Ефективність двоступінчастого контролю була перевірена статистичним моделюванням. Поле допуску звужувалося на величину від 1 мкм до 20 мкм. Результати моделювання показані на рис. 2. Як видно із графіків, при прийнятій посадці ризик споживача (рис. 2 б) зникає вже при звуженні поля допуску на 7 мкм. Однак при цьому збільшується ризик виробника (рис. 2 а). Для того, щоб це нейтралізувати, пропонується застосувати повторне вимірювання деталей, відкладених у брак, більше точним приладом. При повторному контролі вимірювання проводилося з точністю у два рази більше попереднього. Повторний контроль проводився при вихідному полі допуску. Результати представлені на рис. 1, графіки и2 і п2. Як видно із графіків, ризик виробника значно зменшився, а ризик споживача залишився незмінним.

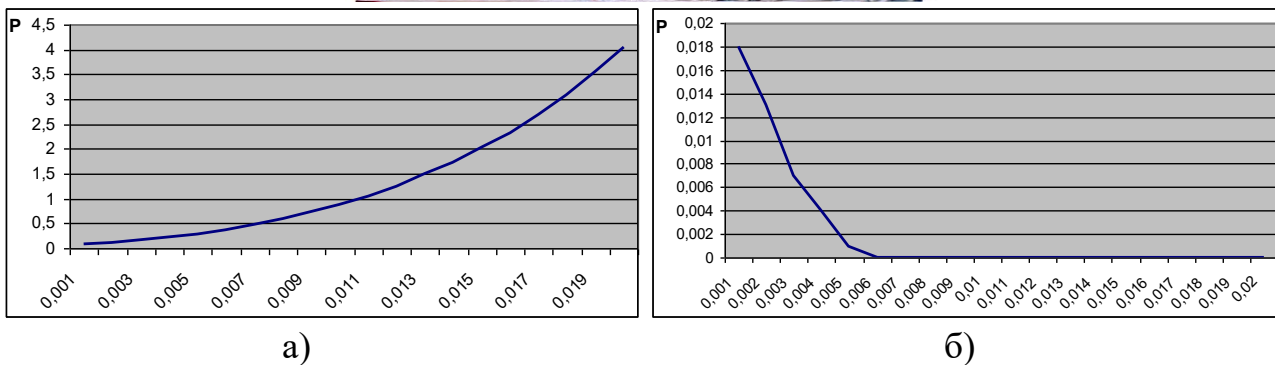


Рис. 2. Ризики при звуженні поля допуску

Розглянувши взаємозв'язки на цьому прикладі, при двоступінчастому контролі можна рекомендувати встановлювати точність первісних вимірів 20÷25 % від поля допуску, повторних вимірів 10÷12 % від поля допуску, при цьому ризик виробника не перевищує $P_{\text{и}} = 0,2 \%$, ризик споживача практично нульовий – $P_{\text{п}} = 0,02 \%$.

Література:

1. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества. - К.: Техніка, 1981. -152 с.,
2. Куприянов А.В. Контроль оптимальности размеров / А.В.Куприянов // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП». – 2010. – №24 . – С. 9-15.
3. Алгоритм імітаційно-статистичного дослідження контрольної-вимірної системи та його програмна реалізація у Ni LabVIEW / С.Т. Пацера, В.І. Корсун, В.А. Дербаба, П.О. Ружин // Системи обробки інформації. – 2016. – № 6(143). – С. 116-119.

РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ МАШИНИ

Кусий Я.М., к.т.н., доцент, Ступницький В.В., д.т.н., доцент, Кук А.М., к.т.н., доцент, Топільницький В.Г., к.т.н., доцент
Національний університет «Львівська політехніка»

Властивості машини, що забезпечують її службове призначення та визначають експлуатаційні властивості, формуються під час технологічних процесів виготовлення деталей і їх складання за рахунок взаємодії різних технологічних об'єктів, до яких відносять [1, 2]: інформаційні об'єкти (етап технологічної підготовки виробництва (ТПВ) життєвого циклу машини (ЖЦМ); матеріально-інформаційні об'єкти (етапи ТПВ та виробництва ЖЦМ); матеріальні об'єкти (етап виробництва ЖЦМ).

Функціонування будь-якої виробничої системи розглядають як взаємодію її досліджуваного елемента із технологічним середовищем – сукупності об'єктів, що взаємодіють із визначеним технологічним об'єктом на окремому етапі



виготовлення деталей або складання машини. Як правило, на рівні технологічного процесу досліджуваним технологічним об'єктом є заготовка або складальна одиниця, на рівні ТП – технологічна операція [1, 2].

Технологічний процес виготовлення виробу тотожний процесу перетворення (успадковування) та збереження (спадковість) властивостей предмету виробництва при взаємодії відповідного технологічного середовище як елемента сукупного формуючого технологічного середовища із предметом виробництва [1].

Сучасні інформаційні технології машинобудівного виробництва і методології реалізації технологічних рішень дозволяють вирішити технічні труднощі, пов'язані з аналізом багатозв'язкових взаємодій, при формуванні множини показників якості при виготовленні машинобудівного виробу [3].

Математичний апарат методології ґрунтується на таких основних положеннях [1, 2]: якість деталі формується протягом усього технологічного процесу і множина показників якості деталі є результатом технологічного процесу; всі показники якості заготовки змінюються в процесі будь-якого технологічного і пов'язаного з ним впливом на заготовку; при зміні будь-якого показника якості змінюються всі інші показники якості заготовки.

Технічне вирішення проблеми підвищення якості машин сучасного машинобудування обумовлене можливістю технологічного забезпечення якості геометричних і фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей [4].

Однак вплив технологічної спадковості на якість поверхневого шару є різним для лезової, алмазно-абразивної та викінчувально-зміцнювальної обробок.

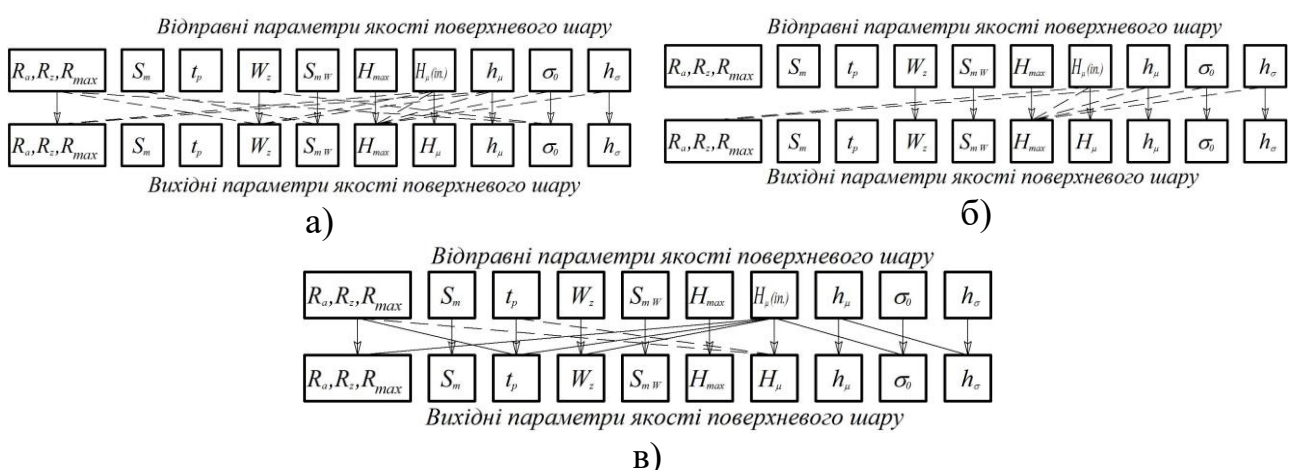


Рис. 1. Технологічна спадковість основних параметрів якості поверхневого шару а) при лезовій обробці, б) при алмазно-абразивній обробці, в) – при ППД (----- – основна спадковість, - - - - - другорядна спадковість)



Зокрема, при лезовій обробці хвилястість визначається R_z відпр. і змінами поверхневої твердості, а формування параметрів шорсткості залежить від R_z відпр. і коливань відправної поверхневої твердості HV_{\min} , HV_{\max} . На чорнових технологічних операціях забезпечується більша глибина зміцненого шару та ступінь зміцнення. При кожній наступній обробці залежно від глибини різання силовий і температурний вплив поширюватимуться на зміцнену та незміцнену поверхні. Це впливатиме на перебіг зміцнення поверхневого шару (рис. 1, а) [4]. При абразивній однопрохідній обробці технологічна спадковість якості поверхні аналогічна лезовій. Відправна шорсткість не матиме істотного впливу на її подальше формування, однак може істотно впливати на фізико-механічні параметри поверхневого шару. Параметри хвилястості та макровідхилення будуть частково успадковуватися від їх початкових значень, крім цього, макровідхилення будуть залежати і від початкових фізико-механічних параметрів поверхневого шару (рис. 1, б) [4].

При поверхневому пластичному деформуванні фізична картина технологічної спадковості буде істотно відрізнятися від лезової та абразивної обробок. В умовах обробки тиском навіть незначна зміна натягу супроводжуватиметься значними коливаннями робочих зусиль. При однаковому робочому зусиллі висотні та крокові параметри мікрорельєфу та величина опорної поверхні залежать від початкової шорсткості. При поверхневому пластичному деформуванні, на відміну від обробки різанням, ширші можливості для керування процесом формування параметрів поверхневого шару (рис. 1, в) [5].

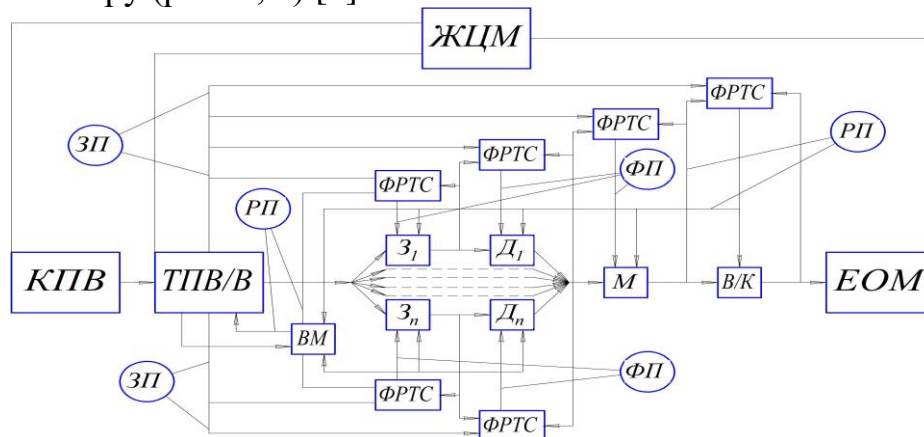


Рис. 2. Концептуальна схема формування раціональних параметрів машини відповідно до її життєвого циклу: ЖЦМ – життєвий цикл машини ; КПВ, ТПВ – відповідно етапи конструкторської та технологічної підготовки виробництва стадії створення машини; ЕОМ – стадія експлуатації та обслуговування машини; Z_1, \dots, Z_n – виготовлення 1-ої та n-ої заготовок деталей машини; D_1, \dots, D_n – виготовлення 1-ої та n-ої деталей машини; М – складання машини; В/К – випробування та контроль машини; ФРТС – формування оптимальних технологічних середовищ; ЗП, РП, ФП – відповідно задані, реальні та властивості, що формуються.



В результаті досліджень сформовано загально-методичний підхід стосовно забезпечення спрямованого формування раціональних параметрів машини відповідно до її життєвого циклу (рис. 2).

Відповідно до службового призначення машини та вимог конструкторської документації (етап конструкторської підготовки виробництва стадії створення ЖЦМ) встановлюють задані (відправні) параметри виробів ЗП. На підставі аналізу технологічних процесів-аналогів на етапі ТПВ встановлюються реальні параметри РП. На підставі аналізу заданих (ЗП) і реальних параметрів (РП) на етапах ТПВ і виробництва ЖЦМ відбувається формування раціональних технологічних середовищ (ФРТС) із забезпеченням необхідних параметрів якості ФП, що формуються.

Найважливішою особливістю підходу є формування для кожного технологічного процесу виготовлення деталей і складання машини оптимального технологічного середовища, що забезпечує найраціональніший розподіл значень показників якості відповідно до нормативних вимог і надає процесу формування якості виробу необхідну спрямованість. Змінюючи середовище або його характеристики, можна керувати властивостями виробів, які формуються.

Література:

1. Дальский А. М. *Технологическая наследственность в машиностроительном производстве* / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А. С. Васильев и др. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.
2. Васильев А. С., Дальский А. М., Клименко С. А. и др. *Технологические основы управления качеством машин* / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
3. Яцерицын П. И. *Технологическая наследственность в машиностроении* / П. И. Яцерицын, Э. В. Рыжов, В. И. Аверченко // Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
4. Суслов А. Г. *Качество поверхностного слоя деталей машин* / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
5. Альгин В. Б. *Технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества машин* / В. Б. Альгин [и др.] ; под общ. ред. П. А. Витязя. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 109 с.



МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ СКЛАДНО-ПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ CAD/CAE СИСТЕМ

Лещенко О.І., к.т.н., доцент

Приазовський державний технічний університет

При створенні сучасних виробів широко використовуються деталі, які мають складні поверхні подвійної кривизни. Можливості сучасних CAD систем фактично не залишають проблем при проектуванні деталей, що мають дані поверхні. Разом з тим, незважаючи на появу високоточних методів лиття і штампування, порошкової металургії і адитивних технологій для отримання поверхонь даного типу, лезова обробка все ще залишається найбільш поширеною на підприємствах України.

Сучасним напрямком в технології машинобудування є фрезерування складно-профільних поверхонь кінцевими радіусними (сферичними) фрезами на багатоопераційних верстатах, що мають від 3 до 5 одночасно керованих координат. Така технологія дозволяє генерувати поверхні складного профілю, що відповідають заданій шорсткості, нормам точності геометричної форми і розмірів. Виникаючі похибки обробки представляють відхилення вказаних параметрів поверхонь деталі, від їх нормованих значень заданих на кресленні. Такі відхилення є наслідком впливів, що порушують процес різання таких як, зазори в кінематичних ланцюгах верстата, неточності статичної настройки ріжучого інструменту або його знос, температурні поля або округлення в розрахунках. Однак домінуючим фактором в цьому випадку, безумовно, є пружні деформації технологічної системи верстата, внаслідок виникання сил різання в процесі формоутворення поверхонь деталі.

Сила різання зростає зі збільшенням площі зрізу. Якщо площа зрізу зростає за рахунок збільшення глибини різання, то пропорційно їй зростає найбільша складова сили різання P_z . Зі збільшенням подачі площа зрізу і відповідна їй сила P_z також зростає, але з меншим коефіцієнтом пропорційності.

Сила різання виходить різною при однакових площах зрізу, але різних їх формах. Встановлено, що товщина зрізу і його ширина не в однаковій мірі впливають на силу різання – вона в меншій мірі залежить від збільшення товщини зрізу і в більшій мірі його ширини.

У аналітичний вираз для площі поперечного перерізу зрізу входить центральний кут, відповідний дузі контакту з заготівлею окружності радіусної частини фрези, вимірюваний в площині, перпендикулярній до осі фрези. Цей кут, пропорційний ширині зрізу буде постійний тільки при симетричному фрезеруванні, що в більшості випадків не підтримується при обробці поверхонь складного профілю зі змінною гаусовою (або повною) кривизною.

Крім цього при фрезеруванні виникає сила тертя задньої поверхні зуба фрези і обробленої поверхні, котра впливає на її шорсткість і стійкість фрези.



Вище перераховані фактори переконливо доводять, що при обробці складно-профільних поверхонь правильний вибір не тільки режимів різання, але і траєкторії формоутворення тісно пов'язаний з аналізом перетину зрізу.

Такий аналіз важко сформулювати рівняннями і виконати аналітично, а відтворити геометричні параметри зрізу на ділянках траєкторії переміщення інструменту зі змінною кривизною, шляхом абстрактного мислення не під силу навіть досвідченому фахівцеві.

В роботі пропонується для дослідження перетину зрізу застосувати засоби сучасної 3D графіки [1], яка дозволяють створювати («таврувати») відбитки форм одного об'єкта на іншому, за умови контакту (або перетину) цих об'єктів. В результаті «таврування» на 3D гранях утворюються додаткові області, до характеристик яких (площі, граничної кривої) і їх редагування (видавити, надати товщину) можна отримати доступ методами класів об'єктно-орієнтованого програмування.

Моделюючи програмними засобами 3D графіки (рис. 1) «обробку» заготовки радіусу R_d твердотільною радіусною R_f фрезою по траєкторії формоутворення F , можна отримати з урахуванням повороту фрези на кут ψ елементи зрізу змінної товщини f ($R_f - R_d$). Шляхом «таврування», виділити площадки контакту по передній S_γ і задній S_α поверхнях зубів інструменту з матеріалом деталі. З огляду на то, що найбільш істотно, в порівнянні з іншими елементами технологічної системи деформується інструмент - кінцева фреза, з огляду на її найменшу жорсткості можна симулювати САЕ системою навантаження сил різання на площадки контакту фрези (рис. 2) і аналізувати її пружні деформації, з точки зору контролю допустимих відхилень оброблюваної поверхні.

В даний час знаходить широке застосування, запропонована рядом Європейських фірм методика розрахунку сил різання через питому силу, значення якої для різних умов і матеріалів наведено в довіднику GARANT [2] або отримано експериментально. Питомим тиском різання називається сила різання, яка припадає на одиницю площі перерізу зрізаного шару ($\text{кг}/\text{мм}^2$). Питомий тиск різання може змінюватися зі зміною факторів, що впливають на силу різання. Наприклад, зі збільшенням міцності оброблюваного матеріалу питомий тиск підвищується, а зі збільшенням площі поперечного перерізу зрізу зменшується.

Для розрахунку сили різання P з використанням значень питомих сил, що діють на передній P_γ і задній P_α поверхні незалежно один від одного, застосовуються «структурні формули» [3] з функціональною залежністю від наступних параметрів:

$$P(C_\gamma, S_\gamma, C_\alpha, \sum L^p) = P_\gamma(C_\gamma, S_\gamma) + P_\alpha(C_\alpha, \sum L^p),$$



де C_γ, C_α - питомі сили тиску на передню і задню поверхні відповідно;

S_γ - площа зрізу по передній поверхні в поточній точки траєкторії;

$\sum L^P$ - проекції сумарної довжини робочих частин різальних крайок на площину, перпендикулярну напрямку, в якому визначається величина сили.

Висновки. Методи фрезерування «рядками» минулого століття обмежувалися аналізом радіусом кривизни складно-профільних поверхонь в площині. Для забезпечення вимог точності сучасного машинобудування необхідний повний аналіз кривизни поверхні, що дає можливість вивчення збурюючих впливів від сил різання. Сьогодні для цих цілей можна вживати апарат 3D графіки CAD систем.

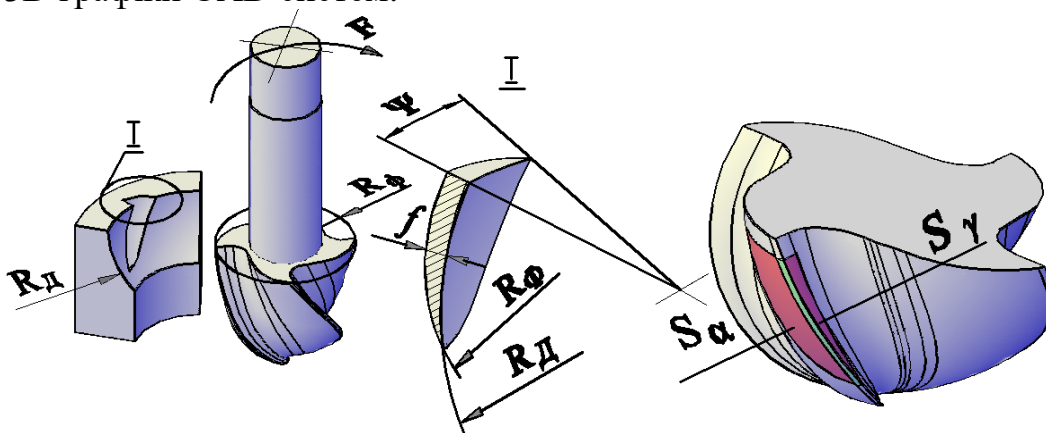


Рис.1. Формування перетину зрізу заготовки R_d товщиною f фрезою R_ϕ

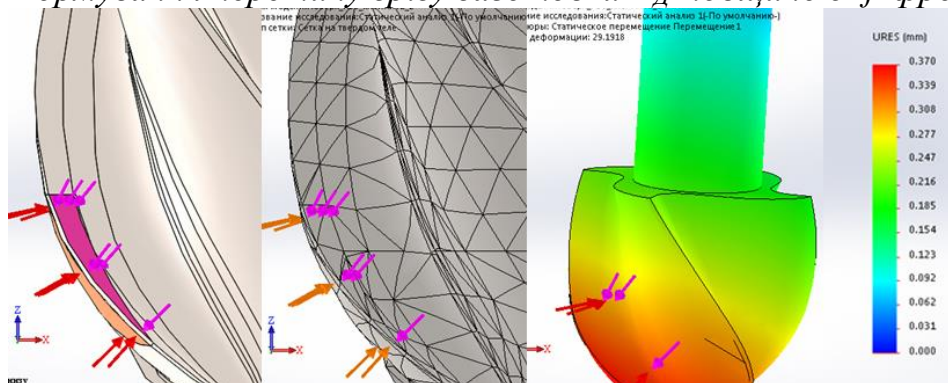


Рис.2. Дослідження пружних віджаттів за допомогою Solidworks Simulation

Література:

1. Лещенко А. И. Расчетно-графическое 3D моделирование площадей среза и силовых зависимостей при обработке концевыми фрезами / Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент»: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С.137-139. - ISBN 978-966-683-529-4
2. GARANT. Machining Handbook [Справочник по обработке резанием]. Режим доступа: www.garant-tools.com (дата обращения 10.09.2019)
3. Внуков Ю. Н. Эволюция развития исследований сил при цилиндрическом фрезеровании от статических к динамическим условиям обработки (часть 1) / Ю. Н. Внуков, Дядя С. И., Козлова Е. Б. // Збірник наукових праць «Сучасні технології в машинобудуванні». – Вип. 11. – Харків: НТУ «ХПИ», 2016. – С. 253-258. – ISSN 2078-7499.



НАРІЗАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВЕЛИКИХ ТА СЕРЕДНІХ МОДУЛІВ ЗБІРНИМИ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ ІЗ ТВЕРДОСПЛАВНИМИ ЗУБЦЯМИ ЗМЕНШЕНОГО КУТА ПРОФІЛЮ

**Литвиняк Я.М., к.т.н., доцент, Юрчишин І.І., к.т.н., доцент,
Махоркін Є.М., к.т.н., доцент**

Національний університет «Львівська політехніка»

Використовувані на транспорті, у важкому та загальному машинобудуванні, гірничо-збагачувальній, видобувній, переробній галузях промисловості сучасні машини, обладнання оснащені механізмами, приводами в яких досить часто застосовуються циліндричні зубчасті передачі. Висока вартість і значна вартість одиниці часу при експлуатації – це загалом основні характеристики, що визначають високі вимоги до довговічності, ремонтпридатності, навантажувальної здатності, зносотривкості використовуваного технологічного, транспортного обладнання. Зазначені показники забезпечуються зокрема використовуваними циліндричними зубчастими передачами, що повинні відповідати певним технічним вимогам, які в свою чергу забезпечують при нарізанні коліс на зубофрезерних операціях.

Операції зубофрезерування, що виконуються з використанням черв'ячних фрез, визначають техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс завдяки значній тривалості та високій вартості використовуваних зуборізальних інструментів, що в значній мірі проявляється під час виготовлення зубчастих коліс великих модулів. Процес нарізання циліндричних зубчастих коліс великих та середніх модулів черв'ячними фрезами супроводжується недостатньою для сучасного виробництва продуктивністю, високою вартістю, відносно низькою стійкістю інструмента та значними експлуатаційними витратами на утримання інструмента в працездатному стані. Повсемістність застосування процесу зубофрезерування фактично не залежить від його основних особливостей, а задачі обґрунтованого удосконалення конструкцій черв'ячних фрез, а від так і процесу зубофрезерування належать до актуальних та важливих для сучасного машинобудування.

Нарізання циліндричних зубчастих коліс великих модулів з високою твердістю є складною технологічною задачею, яка на сучасному рівні розв'язується використанням конструктивно удосконалених черв'ячних фрез, зокрема, збірними черв'ячними фрезами із твердосплавними зубцями, які мають підвищену стійкість та дозволяють, при високій продуктивності, отримати високу точність обробки і низький розхід інструментальних матеріалів. Такі фрези можуть експлуатуватися із рекомендованою швидкістю різання, яка майже в 3,5 рази перевищує швидкість різання для черв'ячних фрез виготовлених із швидкорізальної сталі, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність на операціях зубофрезерування.



Відомі конструкції збірних черв'ячних фрез, що оснащуються твердосплавними зубцями трапецієподібної форми з стандартним кутом профілю 20° , відомих виробників до яких належать черв'ячні фрези Sandvik CoroMill 176, Ingersoll Finish Hobs ВРП 75Х8Z, збірні черв'ячні фрези Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н.Бакуля НАН України. Використовувані у цих фрезах твердосплавні пластини належать загалом до рідковживаних виробів, мають складну просторову геометричну форму, виготовляються і постачаються лише за окремим замовленнями виробниками збірних черв'ячних фрез і тому мають високу вартість. Отже, актуальним є створення конструкцій збірних черв'ячних фрез із твердосплавними зубцями трапецієподібної форми з підвищеним рівнем уніфікованості та нижчою вартістю.

Пропонуються нові розроблені та спроектовані збірні черв'ячні фрези із змінними твердосплавними трапецієподібними зубцями із зменшеним кутом профілю (ЗЧФТЗ-ТЗК) у яких для змінних зубців використовуються токарні твердосплавні пластини трапецієподібної форми, що першочергово призначаються для нарізання різцями канавок чи трапецієвидної різі. Твердосплавні трапецієподібні пластини є стандартними, виготовляються великими партіями інструментальними підприємствами, мають відносно низьку вартість, доступні для придбання, а конструктивно вирізняються тим, що кут між боковими лезами рівний 34° або 15° . Згадані твердосплавні пластини виготовляються із твердих сплавів різних марок, можуть мати зносостійке покриття, а від так, високі експлуатаційні характеристики - опірність до викришування, високу стійкість при різанні з ударами та вібраціями.

Застосування нових конструкцій ЗЧФТЗ-ТЗК передбачає реалізацію удосконаленого способу нарізання зубців зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Для цього потрібне розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору параметрів інструментальних налагоджень та налагоджень технологічної системи зубофрезерної операції для нарізання зубців евольвентного профілю із стандартним кутом профілю на циліндричних зубчастих колесах великих та середніх модулів.

Моделювання процесу формоутворення евольвентних зубців із стандартним кутом профілю виконувалося за допомогою вихідного інструментального контуру із зменшеним кутом профілю. Використання нового вихідного інструментального контуру передбачає у верстатному зачепленні зменшення діаметра початкового кола, зменшення кроку зубців на вихідній рейці, зменшення міжосьової відстані між віссю черв'ячної фрези та віссю циліндричного зубчастого колеса та утворення іншого, зміщеного в напрямку до осі зубчастого колеса, полюсу профілювання.

Дослідження процесу формоутворення зубців евольвентного профілю ґрунтується на таких основних властивостях: кут профілю α евольвенти є різним по висоті зубця; форма евольвенти визначається тільки діаметром d_{b1} основного кола; основне коло залишається незмінним.



Розглянуто утворення евольвентного профілю у верстатному зачепленні двома вихідними інструментальними рейками: інструментальною рейкою із зменшеним кутом профілю (ІРЗК) та інструментальною рейкою із нормальними кутом профілю (ІРНК) (використовуються в позначеннях індекси відповідно 01 та 02), що здійснюють рух кочення без проковзування відповідних початкових прямих по відповідних початкових колах діаметром d_{W12} або d_{W11} зубчастого колеса у верстатному зачепленні. Новий центр профілювання (верстатного зачеплення) знаходиться у точці перетину з міжосьовою лінією, поведеною між віссю нарізуваного зубчастого колеса та початковою прямою ІРЗК, та лінією профілювання, дотичною до спільного основного кола d_{b1} і проведеною під кутом зачеплення α_{02} ($\alpha_{02} = 17^\circ$). Діаметр початкового кола d_{W12} визначаємо за виразом - $d_{W12} = d_{W11} \cdot \frac{\cos \alpha_{01}}{\cos \alpha_{02}}$, де d_{W12} та α_{02} – відповідно діаметр початкового

кола та нормальний кут профілю у верстатному зачепленні для ІРНК. Крок зубців P_{02} у ІРЗК вздовж початкової прямої встановлюємо з умови рівності колового кроку зубців зубчастого колеса на початковому колі діаметром d_{W12} .

Крок P_{02} визначаємо за такою залежністю - $P_{02} = P_{01} \cdot \frac{\cos \alpha_{01}}{\cos \alpha_{02}}$, де P_{01} – крок

зубців вздовж початкового кола ІРНК; α_{01} – кут профілю стандартний ІРНК ($\alpha_{01} = 20^\circ$). Розташування твердосплавних зубців у ІРЗК доцільно контролювати за величиною кроку зачеплення P_{0b2} , розрахованого за виразом - $P_{0b2} = P_{02} \cdot \cos \alpha_{02}$.

Проектування технологічної операції здійснюється разом із розробленням заходів контролю нарізуваних зубців циліндричного зубчастого колеса. Одним із простих способів контролю – контроль товщини зуба по постійній хорді, що знаходиться на відповідній висоті зуба колеса. На відміну стандартизованого параметру контролю товщини зуба колеса, запропоновано використовувати такі параметри, які безпосередньо пов'язані із контуром ІРЗК. Одним із таких параметрів є товщина зуба по хорді S_{C12} , що знаходиться на висоті зуба h_{C12} колеса до цієї хорди, які визначаються за такими залежностями:

$$S_{C12} = S_{W12} \cdot \cos^2 \alpha_{02} \quad \text{та} \quad h_{C12} = \frac{1}{2} \cdot (d_{a1} - d_{W12} - S_{C12} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{02}), \quad \text{де } S_{W12} -$$

товщина зуба колеса на початковому колі d_{W12}

$$(S_{W12} = d_{W12} \cdot \left(\frac{S_{W11}}{d_{W11}} + (\operatorname{tg} \alpha_{01} - \alpha_{01}) - (\operatorname{tg} \alpha_{02} - \alpha_{02}) \right)).$$

Запропоновані інструментально-технологічні заходи удосконалення процесу нарізання на циліндричних зубчастих колесах великих і середніх модулів евольвентних зубців стандартного профілю розробленими збірними черв'ячними фрезами із вставними твердосплавними зубцями із зменшеним кутом профілю.



Література.

Литвиняк Я.М. Технологічне забезпечення нарізання зубчастих коліс середніх і великих модулів черв'ячними фрезами, оснащених вставними твердосплавними зубцями із зменшеним кутом профілю. / Я.М.Литвиняк Я.М.Литвиняк, І.І.Юрчишин, Є.В.Гвоздик // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2019. – № 913. – С. 31 – 38.

СИСТЕМИ ЗАТИСКУ ТА БАГАТОЛЕЗОВОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ З АДАПТИВНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Луців І.В., д.т.н., професор, Волошин В.Н., к.т.н., доцент, Буховець В.М., асистент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Здатність систем затиску та багатолезової токарної обробки виконувати робочі функції при змінах умов роботи істотно залежить від властивостей їх адаптації до змінних факторів впливу (зміни пружних властивостей, динамічних, теплових та інших явищ) [1, 2]. Тому наділення систем затиску та багатолезової токарної обробки властивостями адаптації до зміни характеристик заготовки, умов різання, динамічних та інших явищ є актуальною науковою проблемою.

Складовим компонентом комплексної системи затиску та багатолезової токарної обробки з адаптивними властивостями (рис.1) є затискні механізми (ЗМ) для затиску заготовок та багатолезове оснащення для токарної обробки

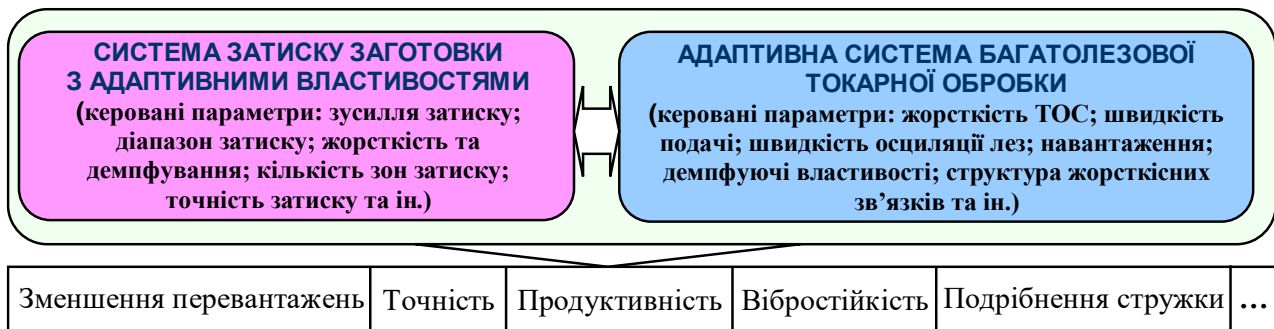


Рис.1. Комплексна система затиску та багатолезової токарної обробки з адаптивними властивостями.

Важливим етапом теоретичного обґрунтування та практичної реалізації принципу конструювання затискних механізмів (ЗМ), який полягає у наділенні їх властивостями адаптації, є структурно-системний підхід до вивчення всієї їх різноманітності, виявлення характерних законів організації, функціонування, побудови і їх розвитку, як складних еволюціонуючих систем. Це дозволить провести спрямований синтез їх структури, а також оцінити наявні властивості технічних рішень. Одним із важливих напрямків є наділення ЗМ адаптивними властивостями, які забезпечать затиск заготовок по поверхнях різної геометрії. Було запропоновано, теоретично і експериментально підтверджено нові



принципи створення ЗМ з адаптацією до поверхні затиску різної геометрії та затиску заготовок у широкому діапазоні діаметрів. Перший принцип полягає у навмисному введенні в конструкцію затискних елементів (ЗЕ) зон деформації, що дозволяє забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки. Такі зони створені з використанням евристичних прийомів повного та неповного розчленування затискних елементів (ЗЕ), шляхом утворення пустот в ЗЕ, використанням здатних до деформування кільцевих сегментів та ін.

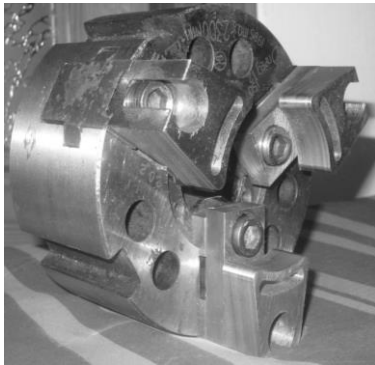


Рис. 2. Механізований токарний затискний патрон із адаптивними властивостями

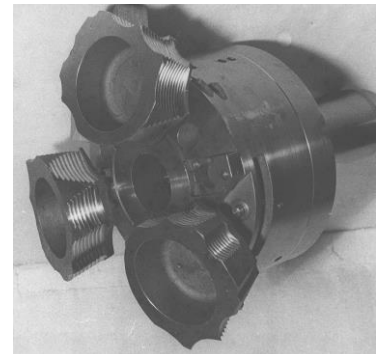
Розроблена із використанням цього принципу конструкція токарного патрона, приведена на рис.2. Аналіз результатів теоретичних досліджень контактування ЗЕ із заготовкою [3], що проводився за допомогою CAD/CAE-системи, та експериментальних досліджень [4] показав, що затискна частина адаптивного ЗЕ із елементом адаптації працює в зоні пружних деформацій в робочому діапазоні навантажень і забезпечує повний контакт ЗЕ із заготовкою в заданому діапазоні діаметрів. На евристичному прийомі об'єднання діапазонів затиску в одному або декількох ЗЕ базується

другий принцип – принцип інтеграції діапазонів затиску.

Це досягається наступними способами: виконання ЗЕ ступінчастими; розточуванням призматичних n - гранних ЗЕ; виконанням ЗЕ фасонного профілю та ін. Отримані способом інтеграції діапазонів затиску ЗЕ називаються багатопрофільними [1, 2] і можуть безпосередньо зв'язуватися з передавально-підсилюючою ланкою, бути її частиною, або базуватися на основних ЗЕ. Затискні патрони, розроблені за допомогою цього принципу, приведені на рис.3.



а)



б)

Рис. 3. Механізовані токарні затискні патрони з багатопрофільними поворотними ЗЕ: а) кулачкового типу; б) плунжерного типу

В ідею конструкцій багатолезових систем токарної обробки з елементами адаптації (рис.4) у вигляді міжінструментального зв'язку (МІЗ) покладено те, що з метою регулювання перехідних процесів різання забезпечено узгодження між швидкістю s_y подачі, яку забезпечує привід, і швидкостями подачі лез різальних елементів [1, 2]. При цьому існує можливість створення в



структурі верстатно-інструментального оснащення внутрішніх механізмів адаптації всієї системи до умов різання. Коливання різальних елементів в напрямку подачі можна задати налагодженням зв'язків між лезами (кінематичного, електромеханічного чи гідравлічного типу), або умовами різання, і отримати вимушені взаємопов'язані зворотно-поступальні переміщення різальних лез [1, 2]. Принциповим фактором має бути те, що головні різальні леза інструментів знаходяться в одному січенні зрізу і зрізують один і той же шар оброблюваного матеріалу. Таким чином, за допомогою зміни подачі в якості параметра керування можна організувати надзвичайно тонкий і чутливий механізм регулювання пружних переміщень. Зміна ж подачі Δs , пов'язана із зміщеннями вздовж напрямку подачі (осі X) не впливає негативно на якість поверхні.

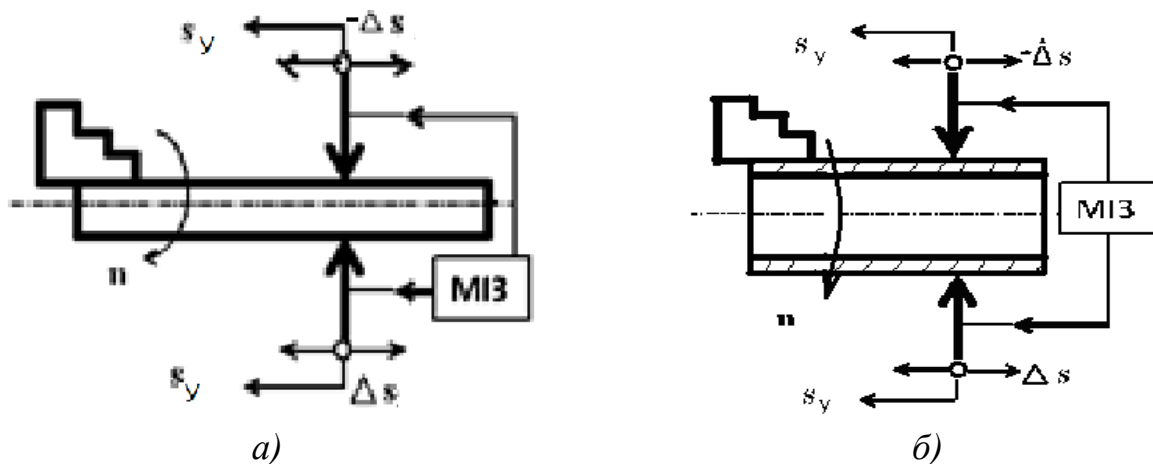


Рис. 4. Технологічні структурні схеми дворізевого оснащення з адаптивними властивостями з міжінструментальним зв'язком (МІЗ) для токарної обробки суцільних нежорстких заготовок (а) і заготовок трубчатого типу (б)

На основі аналізу динамічної стійкості багатолезової системи із адаптивними властивостями підтверджено підвищення стійкості проти автоколивань при багаторізевої обробці з рівномірним затиском заготовок порівняно із однолезовою. Моделювання показує, що запас динамічної стійкості зростає у 1,5-4,1 рази залежно від умов обробки нежорстких деталей [5].

Забезпечення рухомості різальних елементів багатолезового оснащення адаптивного типу в напрямку подачі, а, отже, варіювання миттєвих подач цих елементів і відповідно зміни товщини зрізу, призводить також до подрібнення стружки [6].

Література:

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.



2. *Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ [Кузнецов Ю.Н., Драчев О.И., Луцив И.В. и др.]; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 480 с.*

3. *Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface / I. Lutsiv, V. Voloshyn, R. Bytsa // Machines, Technologies, Materials. International journal. – Issue 12/2015 – pp. 64-67.*

4. *Lutsiv I. Experimental research of deformation zone of adaptive clamping elements for lathe jaws chucks / I. Lutsiv, V. Voloshyn, R. Bytsa // Scientific journal of the Ternopil national technical university. – 2016 – №2 (82) – pp. 55-61.*

5. *Луцив І.В. Комп'ютерне моделювання складових самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки / І.В. Луцив, В.Н. Волошин, В.М. Буховець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні. – 2012.– Випуск 746. – С.28 – 31.*

6. *Lutsiv I. Structural representation of machine and machinery for kinematic chip metal breaking/ I. Lutsiv, V. Voloshyn, O. Stakhurskyi // Professional studies: Theory and Practice (Technological sciences). – 2018 – №4(19) – pp. 28-34.*

ПРО ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

**Марчук В.І., д.т.н., професор, Марчук І.В., к.т.н., доцент,
Сачковська Л.О., аспірант, Гринюк С.В., аспірант
Луцький національний технічний університет**

Температурні дефекти, що виникають на шліфувальних операціях оброблення поверхонь обертання зовнішніх кілець роликотпідшипників не тільки негативно впливають на експлуатаційні властивості підшипника, як то довговічність, точність базування, зносостійкість, надійність, а й спричиняють значний вплив на подальші операції шліфування доріжки кочення кільця внаслідок дії принципу технологічної спадковості дефектів між операціями.

Для прикладу, під час шліфування доріжки кочення кільця підшипника серії 7000 заготовка на безцентрово-шліфувальній операції на верстаті SASL5AD базується за допомогою попередньо обробленої зовнішньої циліндричної поверхні, тому неточності базування передаються на неточність оброблення внутрішньої доріжки кочення зовнішнього кільця.

З іншого боку аналіз виробничих дефектів на безцентрово-шліфувальних операціях показав, що до 30% всіх дефектів кілець після шліфування відноситься до температурних. Тому, встановлення раціональних температурних параметрів та їх взаємозв'язків з показниками процесу безцентрового шліфування заготовок кілець в умовах переналагоджувального виробництва є актуальною науково-технічною проблемою та вимагає ретельного аналізу причин походження та видів температурних дефектів та пошуку методів і засобів їх усунення.

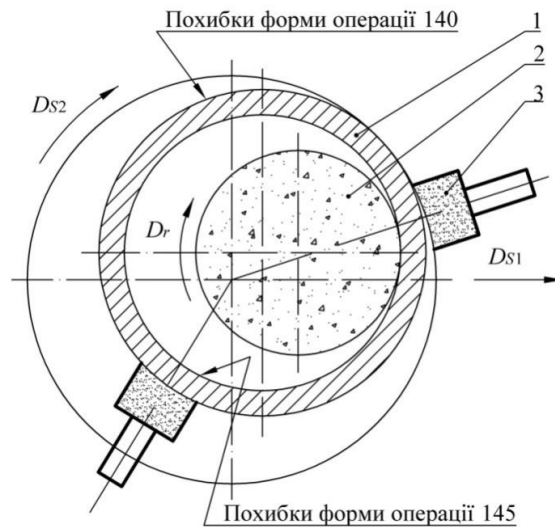


Рис. 1. Схема шліфування доріжки кочення кільця зовнішнього: 1 – заготовка кільця; 2 – головка шліфувальна; 3 – опори

Література:

1. Марчук В.І. Модель стабілізації високочастотних коливних процесів в динамічній системі круглого врізного шліфування / В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеїві / “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 9(2). м. Луцьк, грудень 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 75–82.

2. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності шліфування поверхонь обертання підшипників / І.В. Марчук, А.М. Ештеїві, М.В. Олексин / Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямком “Інженерна механіка”). Вип. 57. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 123–127.

3. Марчук І.В. Технологічне керування точністю поверхонь обертання на операціях механічного оброблення / І.В. Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві / «Сучасні технології у промисловому виробництві»: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 18–21 квітня 2017 р.): у двох частинах / редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – Ч. 1. – 31–32 с.

4. Марчук І.В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / І.В.Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеїві // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.

5. Марчук І.В. Технологічне керування точністю поверхонь обертання в умовах переналагоджувального підшипникового виробництва / І.В. Марчук, А.М. Ештеїві / Збірник тез доповідей XVI-ї Міжнародної науково-технічної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи», ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 16-17 травня 2017 р., м. Київ, Україна. – 2017. – С. 83

6. Марчук В.І. До аналізу джерел та причин походження вібрацій в конічних роликотримачах / В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеїві, М.В. Олексин / Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямком “Інженерна механіка”). Вип. 59. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 184–192.



ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ЗУБОХОНІНГУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПАРАМЕТРА ШОРСТКОСТІ (R_{max}) ПОВЕРХНІ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА

¹Мельник В.Є.,*к.т.н.*, ²Кривошея А.В.,*к.т.н.,с.н.с.*, ³Долгов М.А.,*д.т.н., с.н.с.*

¹ Державний науково-дослідний інститут МВС України, м.Київ

² Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м.Київ

³ Інститут проблем міцності НАН України, м.Київ

Циліндричні евольвентні зубчасті колеса є основною складовою більшості машин і механізмів, від їх якісних показників залежать експлуатаційні показники машин в цілому. Кінцеву форму і структуру поверхні формує фінішна операція. Одним із перспективних способів фінішної обробки є зубохонінгування алмазними черв'ячними хонами [1]. Традиційне зубохонінгування дисковими хонами, через різні швидкості ковзання по висоті зуба, не забезпечує рівномірну шорсткість по всій поверхні зуба зубчастого колеса.

Як відомо, у більшості зубчастих коліс спочатку іде припрацювання поверхонь зубчастих коліс, потім стабільний і критичний знос. Шорсткість поверхні зубів зубчастих коліс впливає на процес припрацювання, так як значно змінюються параметри мікрорельєфу під час нього. Так, високі і гострі мікронерівності піддаються великим навантаженням під час припрацювання, що призводить до значного зносу. В зв'язку з тим, що висота мікронерівностей у різних кромках різна, то вони вступають в контакт не одночасно. Збільшення площі контакту контактуючих поверхонь призведе до зниження питомих навантажень і часу припрацювання зубчастих коліс [2].

Критерієм оцінки збільшення площі контакту зубчастих коліс є параметр шорсткості R_{max} – найбільша висота нерівностей профілю, відповідно до ДСТУ 2413-94 "Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення". Чим менше параметр шорсткості R_{max} тим більше площа контакту поверхонь зубчастих коліс.

Розглянемо вплив зубохонінгування алмазними черв'ячними хонами зубчастих коліс на величину параметра шорсткості R_{max} . Експериментальні дослідження виконувались в Інституті надтвердих матеріалів ім.В.М. Бакуля на горизонтально-фрезерному верстаті 6М82Ш. При дослідженнях використовувалось розроблене спеціальне пристосування, яке забезпечує пружний зв'язок в парі інструмент-деталь. Заміри шорсткості проводили до та після обробки, відповідно до методик представлених в роботі [3], де досліджувався параметр шорсткості R_a – середнє арифметичне відхилення профілю.

Зубчасті колеса попередньо піддавалися термообробці (цементация) і оброблялися чистовими черв'ячними фрезами.



Характеристика хона АСМ 28/20 модуль 2,625 мм. Режими обробки $V_{пр} = 25\text{мм/хв}$, $n = 200\text{ об/хв}$. Зусилля радіального притиску в парі інструмент-деталь 10-15 кг.

Для представлення результатів замірів шорсткості до та після зубохонінгування побудовано криві розсіювання їх величин (рис.).

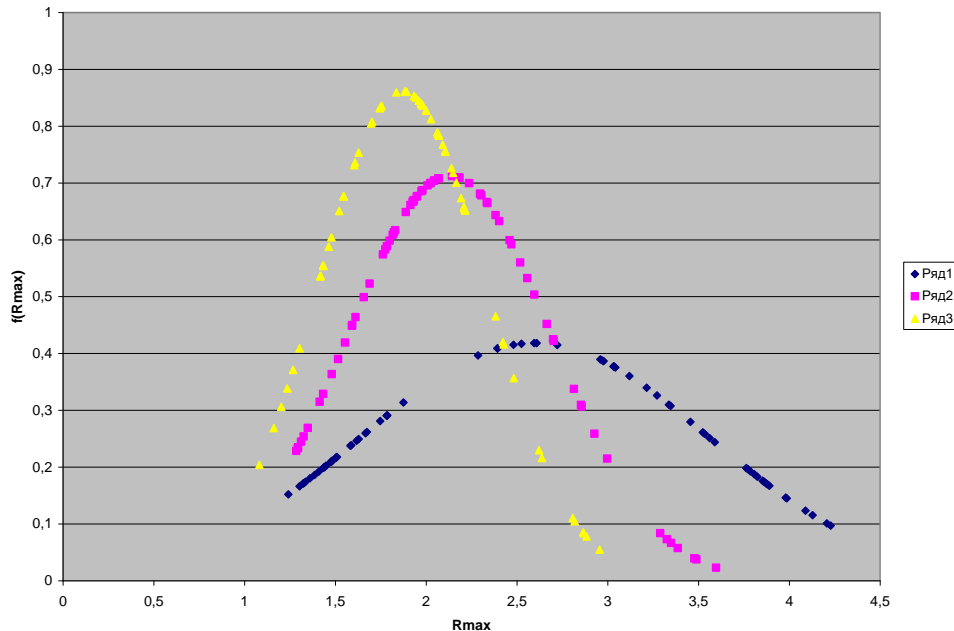


Рис. Крива розсіювання шорсткості по профілю зуба (R_{max}) після "твердого" фрезерування (синій колір), після зубохонінгування 4 проходи (рожевий колір) та 12 проходів (жовтий колір).

Найбільша висота мікронерівностей поверхонь зубів зубчастих коліс зменшується в 1,4-1,5 рази.

Відповідно до побудованого графіка, можна зробити висновок що завдяки процесу зубохонінгування алмазними черв'ячними хонами зменшуються вершини мікронерівностей і вирівнюється їх величини, що позитивним чином впливає на збільшення площі контакту поверхонь зубчастих коліс і зменшує час припрацювання зубчастих коліс.

Література:

1. Кривошея А.В. Финишная обработка цилиндрических зубчатых колес алмазными эластичными червячными хонами / А. В. Кривошея, В. Е. Мельник, В. В. Возный, С. В. Рябченко, В. Н. Бычихин, Т. Е. Третьяк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. - 2016. - Вып. 19. - С. 444-450.
2. Тополянский П.А. Повышение стойкости прецизионных зубчатых колес. РИТМ. Металлообработка. Сварка. 2014, № 4. - С. 22-27.
3. Кривошея А. В. Анализ процесса зубохонингования зубчатых колес модулем $m = 2,625\text{ мм}$ гидронасосов / А. В. Кривошея, В. В. Возный, В. Е. Мельник // Journal of engineering sciences. - 2017. - Vol. 4, Iss. 1. - С. A11-A15.



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ СТУПІНЧАСТИМИ РІЗЦЯМИ З ОДНОВЕРШИННОЮ СХЕМОЮ РІЗАННЯ

Мироненко Є.В., *д.т.н., професор*, Міранцов С.Л., *к.т.н., доцент*,
Гузенко Д.Є., *асистент*

Донбаська державна машинобудівна академія

Підвищення ефективності механічної обробки деталей для металургійного та енергетичного машинобудування (валків прокатних станів, роторів турбін та ін.) на важких верстатах відноситься до найбільш актуальних задач металообробки та машинобудування. Процес обробки цих деталей характеризується важкими умовами різання, а саме великими перерізами зрізаного шару, великими навантаженнями на різальну частину інструмента та інтенсивними коливаннями в технологічній системі внаслідок нерівномірності припуску при чорновій обробці.

Для вирішення задачі підвищення ефективності обробки деталей розроблена конструкція ступінчастого збірного різця, яка на відміну від відомих конструкцій здійснює процес різання двома різальними пластинами за одновершинною схемою (рис. 1), що дозволяє поліпшити динамічні характеристики при знятті великих перерізів зрізу.



Рис. 1 – Різальна частина ступінчастого збірного різця

Для досліджень динамічних характеристик технологічної системи для випадку чорнової обробки деталі на важкому токарному верстаті ступінчастим збірним різцем запропонована структурна модель, наведена на рисунку 2.

Особливістю пропонованої структурної моделі, у порівнянні з раніше розробленими, є наявність двох процесів різання, які здійснюються різальними пластинами ступінчастого різця.

У представленій на рисунку 2 структурній моделі прийняті наступні позначення:

- a_0, b_0 - початкові товщина та ширина шару, що зрізується;
- K_{ab} – коефіцієнт, що визначає зменшення товщини та ширини шару, зрізується другою пластиною інструмента;
- $W1_{np}(s), W2_{np}(s)$ – передавальні функції процесів різання двома



різальними пластинами ступінчастого різця;

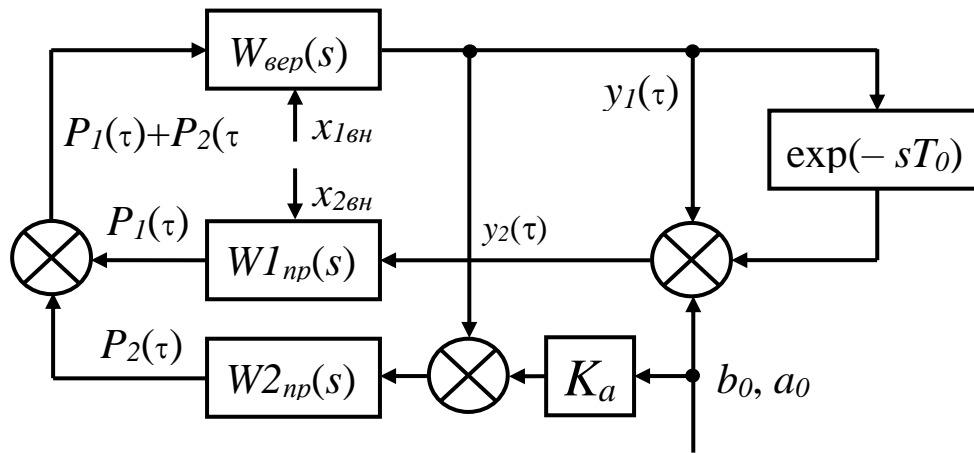


Рис. 2 - Структурна модель технологічної системи

- $W_{вер}(s)$ - передавальна функція еквівалентної пружної системи верстата;
- $\exp(-s\tau)$ - фазова характеристика процесу різання;
- $y_1(\tau), y_2(\tau)$ - пружні переміщення, що виникають в еквівалентній пружній системі верстата та пружні переміщення, що виникають внаслідок руху інструменту по сліду від попереднього проходу;
- $x_{1вн}, x_{2вн}$ - зовнішні впливи на технологічну систему, пов'язані з наявністю випадкових і систематичних похибок.

Програмна реалізація моделі виконана в пакеті Simulink MATLAB, з використанням передатних функцій, що описують елементи технологічної системи.

Дослідження динамічних характеристик технологічної системи проводилися з метою визначення амплітуд та частот коливання інструменту при різанні різцем з однією різальною пластиною та ступінчастим різцем. Для цього проводилось по три серії моделювання при різанні різцем з однією пластиною й для ступінчастого різця.

Таблиця

Режими різання обробки деталі

№	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	Ne, кВт	Pz, Н	Py, Н	Px, Н
1	10	1,9	61	18	24157	8454	10870
2	25	1,2	58	42	40263	14092	18118
3	30	0,9	54	55	56358	19725	25361

Умови проведення моделювання: верстат мод. 1А670; діаметр деталі, що обробляється $D = 650$ мм; довжина обробки $L = 650$ мм; матеріал деталі 90ХФ, $\sigma_B = 850$ МПа, $HВ = 240$; заготовка – поковка. Режими різання визначалися згідно нормативів режимів різання для важких верстатів. Режими обробки наведені в таблиці.



Результати моделювання процесу обробки різцями з однією різальною пластиною і ступінчастим різцем наведені на рисунку 3.

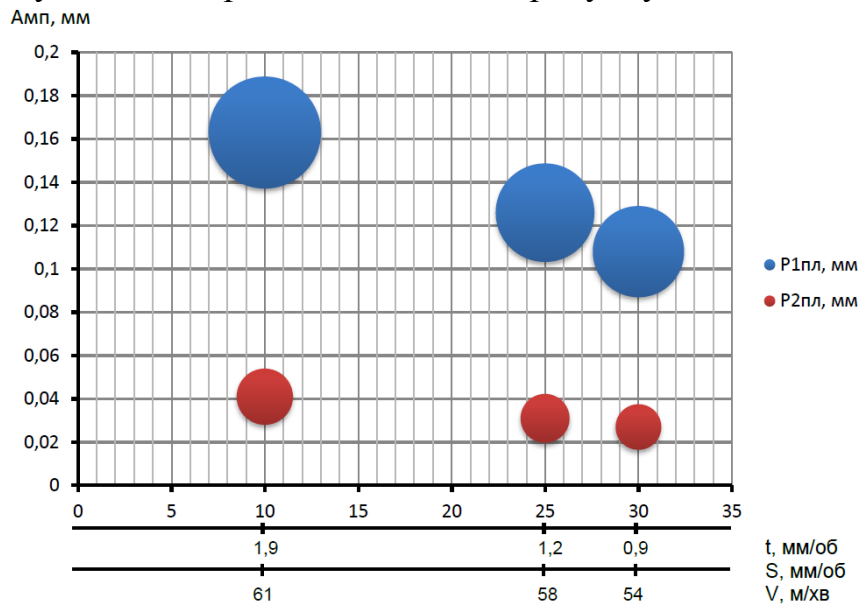


Рис. 3 – Амплітуди коливань інструмента з однією різальною пластиною та ступінчастого різця

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. За результатами досліджень встановлено, що схема різання при обробці деталей з глибинами різання t у діапазоні від 10 до 30 мм та подачами S від 0,9 до 1,9 мм/об впливає на амплітуду і характер коливань. При обробці деталей різцем з одновершинною схемою різання у порівнянні з інструментом з однією пластиною амплітуда коливань в технологічній системі верстата зменшується в (2,5 ...3) рази.

2. При обробці деталей різцем з однією різальною пластиною процес різання при збільшенні глибини різання понад 10 мм характеризується зростаючого від початку обробки з подальшою стабілізацією значення амплітуди коливань. Подібний характер коливань свідчить про нестабільний характер процесу різання з динамічної точки зору та пояснюється виникненням інтенсивних автоколивань за рахунок слідів від попередніх проходів різальної кромки інструменту.

3. Обробка ступінчастим різцем характеризується стабільними значеннями амплітуди коливань, що свідчить про стабільність процесу з динамічної точки зору та пояснюється тим, що кожна різальна пластина працює окремо та складові сили різання розподіляються між ними, а також усуненням впливу по сліду попереднього проходу, що зменшує рівень автоколивань.

4. Запропонована конструкція ступінчастого різця з одновершинною схемою різання дозволяє підвищити продуктивність обробки деталей за рахунок збільшення подачі.



ПОСТАНОВКА НЕСТАЦІОНАРНОЇ ГРАНИЧНОЇ ЗАДАЧІ ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ У ЗМІННОМУ ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Молчанов В.Ф. к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет

У сучасному машинобудуванні при механічній обробці деталей, з метою підвищення якості і зниження собівартості продукції, на фінішних операціях металообробки важливого значення набуває широке застосування мастильно-охолоджуючих рідин. В процесі їх роботи технологічні рідини безперервно і інтенсивно забруднюються твердими частками металообробки.

Для відновлення вихідних параметрів і властивостей технологічні рідини очищають від механічних домішок. Найбільш широке застосування отримують способи очистки технологічних рідин фільтруванням [1].

Використання фільтрування для очистки і освітлення технологічних рідин найефективніше, тому що при фільтруванні через шар пористих матеріалів можна досягти повного видалення твердих часток з рідин [2]. Проте особливості будови пористого простору обумовлюють ряд специфічних явищ, що виникають при русі рідин в каналах пористого середовища.

Метою роботи є вивчення і встановлення закономірності процесу фільтрування технологічних рідин через пористі матеріали. При фільтруванні технологічних рідин через шар пористих матеріалів пористе середовище фільтрувальної перегородки змінюється із зміною його пористості. Зміна пористості відбувається за рахунок зменшення об'єму пор пористого простору, оскільки тверді частки разом з рідиною проникають в пори каналів пористого простору і зависають в ньому.

У даній моделі, процес фільтрування шламової суспензії протікає з постійним закупорюванням пор фільтрувальної перегородки. При фільтруванні з поступовим закупорюванням пор на фільтрувальну перегородку об'ємом W_{ϕ} , м³, в якій міститься шар сипкого пористого матеріалу пористістю Π , безперервно поступає технологічна рідина з швидкістю $W_{ж}$, м³ за хвилину, в якій містяться тверді частки масою κ_3 , кг. Тверді частки, що поступають з рідиною в пори каналів фільтрувальної перегородки, зависають і затримуються в ній, а відфільтрована рідина продовжує рухатися з тією ж швидкістю. Тверді частки, що зависли в порах каналів фільтрувальної перегородки, змінюють її пористість і впливають на тривалість процесу фільтрування [3].

Вважаючи, що зміна пористості пропорційна приросту маси твердих часток в пористому шарі фільтрувальної перегородки об'ємом W_{ϕ} , м³, отримаємо

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho \cdot W_{\phi}} \quad (1)$$



де ρ – щільність пористого середовища, кг/м³.

Оскільки при фільтруванні водно-шламових суспензій через фільтрувальну перегородку пористе середовище безперервно змінюється і зростає за рахунок твердих часток шламу, то рівняння нерозривності приймає вид

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial \Pi}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Підставляючи в рівняння нерозривності значення

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{d\rho}{dP} \cdot \frac{\partial P}{\partial t}; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial t} = \frac{d\Pi}{dm_T} \cdot \frac{\partial m_T}{\partial t},$$

отримуємо

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{d\rho}{dP} \frac{\partial P}{\partial t} + \rho \frac{d\Pi}{dm_T} \frac{\partial m_T}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

Реальна рідина слабо стиснена, тому з достатнім ступенем точності можна записати

$$\rho - \rho_0 = \frac{\rho}{\alpha} (P - P_0). \quad (4)$$

де α – модуль пружності, Н/м².

Визначаючи по приведених формулах (1) і (4) значення величин

$$\frac{\partial m_T}{\partial t} = W_{жс} \cdot \kappa_3 \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}; \quad \frac{d\Pi}{dm_T} = \frac{1}{\rho \cdot W_\phi}; \quad \frac{d\rho}{dP} = \frac{\rho}{\alpha},$$

рівняння нерозривності для змінного пористого середовища має наступний вид

$$\frac{\partial(\rho_0 u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_0 v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{\rho}{\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot W_{жс} \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}}{\rho \cdot W_\phi} = 0. \quad (5)$$

Для рішення диференціального рівняння (5) при фільтрування водно-шламової суспензії через пористий шар фільтрувальної перегородки припускаємо, що рух рідини здійснюється в одному напрямі, відповідно прийнятій моделі процесу фільтрування шламової суспензії. Тоді рівняння (5) приймає вид

$$\frac{\partial(\rho_0 w)}{\partial z} + \Pi \frac{\rho}{\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot W_{жс} \cdot e^{-W_{жс} \cdot t}}{\rho \cdot W_\phi} = 0. \quad (6)$$

Процес фільтрування водно-шламових суспензій через пористий шар твердих часток фільтрувальної перегородки підкоряється лінійному закону фільтрування – закон Дарсі [4]

$$w = k_\phi \cdot \frac{dP}{dz} \quad (7)$$

де k_ϕ - коефіцієнт фільтрування, м/с.

Коефіцієнт фільтрування має розмірність швидкості і характеризує властивості фільтрувального матеріалу, для конкретного виду рідини. Слід



зазначити, що значення коефіцієнта фільтрування бажано визначати експериментальним шляхом, оскільки запропоновані теоретичні формули не завжди дають достатньо точні результати [5].

Виконуючи відповідні перетворення у рівнянні фільтрування рідини для перемінного пористого середовища через перепади тиску на фільтрувальну перегородку, отримуємо кінцевий вид даного рівняння фільтрування рідини в перемінному пористому середовищі

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \Pi \frac{\rho \cdot g}{\alpha \cdot k_{\phi}} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot g \cdot W_{\text{жс}} \cdot e^{-W_{\text{жс}} \cdot t}}{k_{\phi} \cdot \rho \cdot W_{\phi}} = 0 \quad (8)$$

Таким чином, на підставі закону зміни пористості фільтрувальної перегородки виведено диференціальне рівняння фільтрування рідини в перемінному пористому середовищі. Диференціальне рівняння (8) дозволяє за заданих початкових і граничних умов отримати рішення задачі фільтрування рідини через шар твердих часток перемінного пористого середовища фільтрувальної перегородки в області часових $0 \leq t \leq T$ та просторових $0 \leq z \leq L$ значень.

Задаючись початковими і граничними умовами

$$P(z, 0) = P_1; \quad P(0, t) = P_1; \quad P(L, t) = P_2. \quad (9)$$

приходимо до постановки нестационарної граничної задачі фільтрування водно-шламових рідин в перемінному пористому середовищі.

1. Проведені дослідження дозволили виявити і вивчити закономірності процесу фільтрування технологічних рідин через пористі матеріали.

2. Виявлені закономірності дозволили встановити закон зміни пористості фільтрувальної перегородки.

3. На підставі закону зміни пористості фільтрувальної перегородки виведене диференціальне рівняння, яке дозволяє за заданих початкових і граничних умов отримати рішення нестационарної граничної задачі фільтрування рідини через шар твердих часток перемінного пористого середовища фільтрувальної перегородки.

Література

1. Полянсков Ю.В. К методике исследования эффективной очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке / Ю.В. Полянсков, Е.А. Карев // Труды института. Ульяновский политехнический институт. - Куйбышев, 1976.-Вып.1. – С.46-54.

2. Молчанов В.Ф. Исследование фильтрации жидкостей через пористые материалы / В.Ф. Молчанов // «Математичні проблеми технічної механіки» Третя Всеукраїнська наукова конференція (матеріали конференції). Дніпродзержинськ, 2003. – С.71-72.

3. Молчанов В.Ф. Постановка нестационарной задачи фильтрации жидкостей в пористой среде / В.Ф. Молчанов // Математичне моделювання. Науковий журнал №1. ДДТУ. – Дніпродзержинськ, 2014. – С 28-30.

4.Шейдеггер А. Физика течения жидкостей через пористые среды. М., 1960, 137с.

5. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков – М.: Химия, 1968. – 411 с.



СТРУКТУРНІ КРИТЕРІЇ ФОРМУВАННЯ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ЕКВІАТОМНИХ СПЛАВІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Паздрій І. П.¹, к.ф.-м.н., доцент, Дуфанець М. В.², аспірантка

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Львівський національний університет імені Івана Франка

На сучасному етапі розвитку машинобудування широкий практичний інтерес мають матеріали, в основі яких є елементи в рівних еквіатомних пропорціях, що завдяки високій ентропії змішування в таких матеріалах сприяє формуванню неупорядкованих твердих розчинів [1, 2].

Експериментальні дослідження показали, що цим матеріалам властиві унікальні фізико-механічні властивості, зокрема, високі твердість, зносотривкість, термічна стабільність та корозійна стійкість, що дає змогу використовувати їх в машинобудівній та металургійній промисловості, зокрема, для виготовлення різних інструментів. Такі матеріали здатні поєднати задовільні міцність та пластичність із стійкістю до знезміцнення [3, 4].

Методики експериментальних досліджень

Зразки сплавів AlCoCuFeNiCr та CoCuFeNiCr хімічного складу (табл. 1) масою 25 г отримували методом дугового сплавлення компонентів в атмосфері аргону. Хімічна чистота компонентів шихти складала 99.9%. Для гомогенізації зразки переплавляли 4–5 разів, після чого розплави охолоджували до кімнатної температури з швидкістю 50-100 К/с. Для контролю хімічного складу отриманого злитку використовували метод рентгенофлуоресцентного аналізу за допомогою енергодисперсійного аналізатора «EXPERT-3L».

Рентгеноструктурні дослідження матеріалів проводили на автоматизованому рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3, використовуючи монохроматизоване $\text{Co K}\alpha$ -випромінювання. Дифрактограми записували в режимі неперервного переміщення детектора з швидкістю 0.5 град./хв. Опрацювання дифракційних спектрів (визначення положень та півширин дифракційних ліній, уточнення параметрів елементарної комірки, розділення складних максимумів) проводили за допомогою пакету програм DHN_PDS.

Мікроструктуру зразків вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопу PEM-106I виробництва ВАТ «Selmi», мікротвердість вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 1.65 Н.

Результати експериментальних досліджень

Хімічний та структурно-фазовий склад досліджуваних матеріалів подано у табл. 1.



Таблиця 1.

Хімічний та фазовий склад досліджуваних еквіатомних сплавів.

№ з/п	Зразок	Хімічний склад, ат.%						Фаза*	а, нм
		Al	Ni	Co	Cu	Fe	Cr		
1	AlCoCuFeNiCr	10.0	13.3	5.4	62.9	5.0	3.4	ГЦК	0.36232
		12.4	19.4	19.1	19.6	17.4	12.0	ОЦК	0.28741
2	CoCuFeNiCr	—	11.0	3.3	78.7	3.8	3.1	ГЦК	0.36085
		—	21.0	23.9	9.7	22.0	23.4	ГЦК	0.35824

*Примітка: ОЦК — об'ємцентрована кубічна гратка,
ГЦК — гранецентрована кубічна гратка

Результати рентгеноструктурних досліджень високоентропійних еквіатомних сплавів подано на рис. 1, а електронно-мікроскопічних досліджень — на рис. 2.

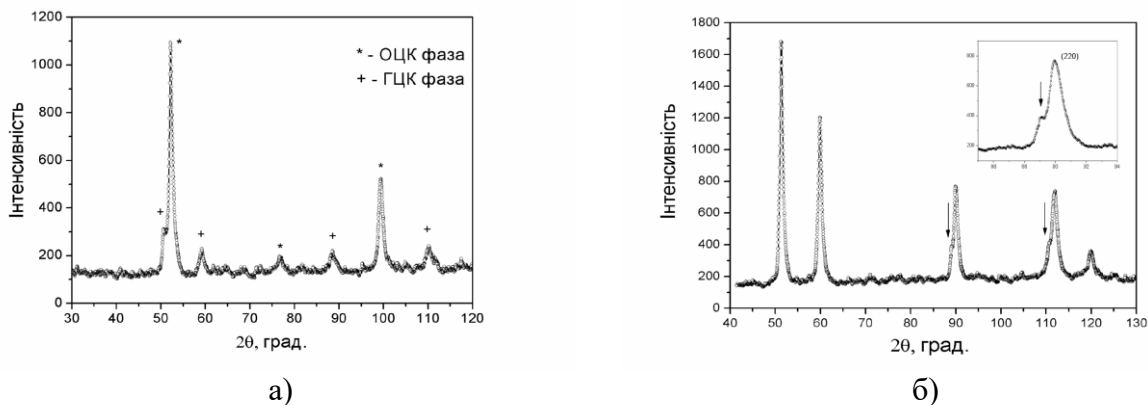


Рис. 1. Рентгенівські дифрактограми сплавів: а) AlCoCuFeNiCr; б) CoCuFeNiCr.

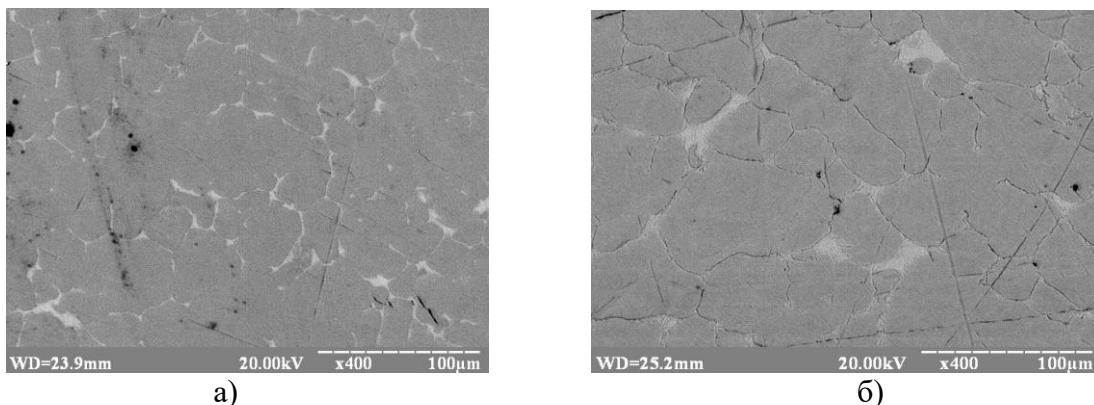


Рис. 2. Електронно-мікроскопічна структура сплавів: а) AlCoCuFeNiCr; б) CoCuFeNiCr.

Результати рентгенофазового аналізу (рис. 1, а) вказують на формування двофазної структури в сплаві AlCoFeCuNiCr. На дифрактограмі спостерігаються дві системи максимумів від неупорядкованих розчинів з ОЦК



та ГЦК ґратками. Однак, в сплавi iнтенсивнiсть лiнiй ГЦК-фази суттєво послаблюється, що вказує на зменшення її об'ємної частки. Збiльшення частки ОЦК-фази можна пояснити присутнiстю в сплавi атомiв Cr, елемента з найвищою з помiж усiх температурою плавлення (2180 К) та ОЦК ґраткою. Результати аналізу хiмiчного складу показали, що ОЦК-фаза мiстить до 76 ат. % перехiдних елементiв (Fe, Co, Ni, Cr), 12 ат. % Al та 12 ат. % Cu. Мiкроструктура сплаву має дендритний характер. Темнi дiлянки вiдповiдають зернам ОЦК-фази, тодi як свiтла фаза, що видiляється у просторi мiж зернами темної фази, є збагаченим Cu (63 ат. %) твердим розчином з ГЦК ґраткою.

На дифрактограмi сплаву CoFeCuNiCr (рис. 1, б), спостерiгається ряд iнтенсивних лiнiй (111), (200), (220), (311), (222), що вiдповiдають невпорядкованому твердому розчину з ГЦК ґраткою. Однак, слiд звернути увагу на присутнiсть додаткових лiнiй поблизу лiнiй (220) та (311) (вставка на рис. 1, б). Можна припустити, що вказанi лiнiї вiдповiдають iншому твердому розчину з тим же типом кристалiчної ґратки та близьким значенням параметра елементарної комiрки. Пiдтвердженням цього є видiлення свiтлої фази, що спостерiгаються мiж кристалiтами темної фази (рис. 2, б). Аналiз хiмiчного складу складових мiкроструктури виявив збiднення основної фази атомами Cu (9 ат. %) при майже однаковому вiмiстi iнших елементiв (21–23 ат. %). При цьому збагачена Cu свiтла фаза, що мiстить близько 79 % Cu та 11 % Ni, є збiдненою атомами Fe, Co та Cr (3–4 ат. %). Можна стверджувати, що результати мiкроструктурного аналізу задовiльно корелюють з даними рентгенiвських дослiджень.

Для встановлення кореляцiї мiж структурно-фазовим станом сплавiв та їх механiчними властивостями проведено вимiрювання мiкротвердостi та вiдносного видовження. Мiкротвердiсть сплаву AlCoFeCuNiCr становить 5.93 ГПа, вiдносне видовження — 5.02 %, а сплаву CoFeCuNiCr — 2.74 ГПа та 1.12 % вiдповiдно. Спостерiгається певна вiдповiднiсть мiкротвердостi та фазового складу сплавiв. Зокрема, сплав CoCuFeNiCr, що мiстить найбільшу кiлькiсть ГЦК-фази, характеризується найменшою мiкротвердiстю. Вiдомо, що пластичнiсть сплавiв з ГЦК ґраткою є більшою, а твердiсть меншою, нiж у сплавах з ОЦК ґраткою. Збiльшення частки твердого розчину з ОЦК ґраткою сприяє збiльшенню мiкротвердостi до 5.93 ГПа.

Лiтература:

1. Yeh J.-W., Chen S.-K., Lin S.-J., Gan J.-Y., Chin Ts.-Sh., Shun T.-Ts., Tsau Ch.-H., Chang Sh.-Y. Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principle Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes // *Advanced Engineering Materials*, 2004, 6 №8, 299–303.
2. Wang Y.P., Li B.Sh., Heng Zh.F. Solid Solution or Intermetallics in a High-Entropy Alloy // *Advanced Engineering Materials*, 2009, 11 № 8, 641–644.
3. S. Firstov, V. Gorban', N. Krapivka, E. Pechkovskiy, M. Karpets, *Sovremennyye problemy fizicheskogo materialovedeniya*, (20), 48 (2011).
4. V. Gorban', V. Nazarenko, N. Danilenko, M. Karpets, N. Krapivka, S. Firstov, E. Makarenko, *Deformatsiya i razrusheniye materialov*, (9), 5 (2013).



ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕЧНОЇ ПОДАЧІ НА ТОЧНІСТЬ ОТРИМАНОГО ПРОФІЛЮ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ У ПРОЦЕСІ ТОЧІННЯ

Панчук В. Г. д.т.н. професор, Онисько О. Р. к.т.н. доцент, Сенічак В. В. аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

У процесі точіння конічних замкових нарізей як правило використовують різця із нульовим значенням переднього кута у вершинній точці. У цій роботі розглядається використання нарізевих різців із ненульовим значенням переднього кута, що надає значно більше можливостей при точінні важко обробних матеріалів з яких рекомендовано виробляти замкові з'єднання для сучасних методів буріння.

На рисунку 1 зображено схему переміщення довільної точки M по конічній гвинтовій лінії. Розміщення точки M задано радіус-вектором \vec{r}

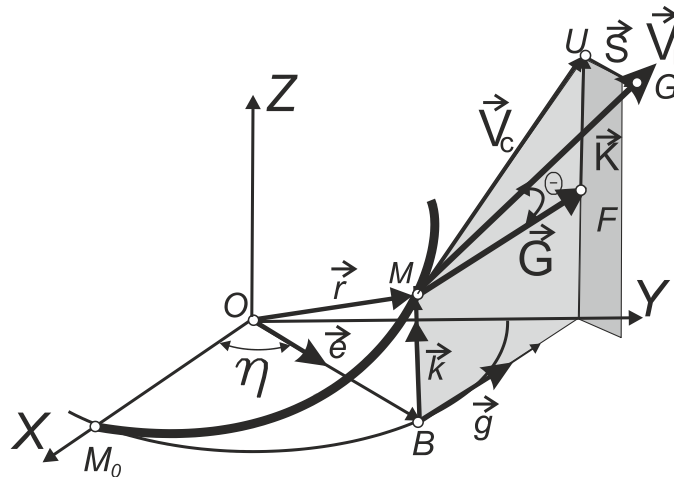


Рис.1. Схема руху точки M по конічній гвинтовій лінії

За допомогою колових векторних функцій його можна представити у такому вигляді:

$$\vec{r} = \left(\frac{d_3}{2} + P \operatorname{tg}(\phi) \frac{\eta}{2\pi} - \Delta \right) \vec{e}(\eta) + \vec{k} p \eta$$

де:

d_3 – зовнішній діаметр конічної нарізі зі сторони меншої основи;

P – крок нарізі;

f – конусність нарізі;

η – величина кутового переміщення точки різальної крайки відносно осі нарізі;

D – радіальна віддаленість довільної точки різальної крайки від гребеня нарізі.

Для знаходження результуючої швидкості V_r після диференціювання попередньої формули 1 отримаємо наступний вираз:



$$V_r = P \operatorname{tg}(\phi) n \vec{e}(\eta) + \left(P \operatorname{tg}(\phi) 2\pi n^2 t + 2\pi n \left(\frac{d_3}{2} - \Delta \right) \right) \vec{g}(\eta) + \vec{k} P n$$

Де n – частота обертів хв^{-1}

Вказаний вираз можна представити у такому векторному вигляді:

$$\vec{V} = \vec{S} + \vec{G} + \vec{K}$$

Цей вираз відповідає рисунку 1. У ньому величину вектора S можна представити так:

$$|\vec{S}| = P \operatorname{tg} \phi \bullet n$$

На рисунку 2 показано схему розподілу статичних передніх кутів та векторів швидкості головного руху уздовж різальної крайки нарізевого різця.

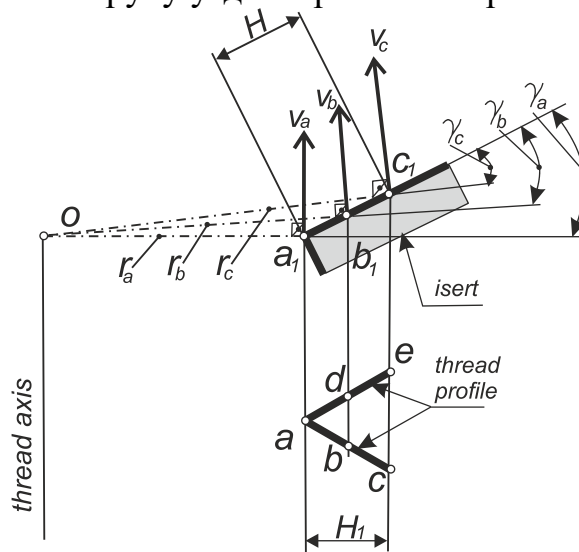


Рис. 2. Схема розподілу статичних передніх кутів та векторів швидкості головного руху уздовж різальної крайки нарізевого різця

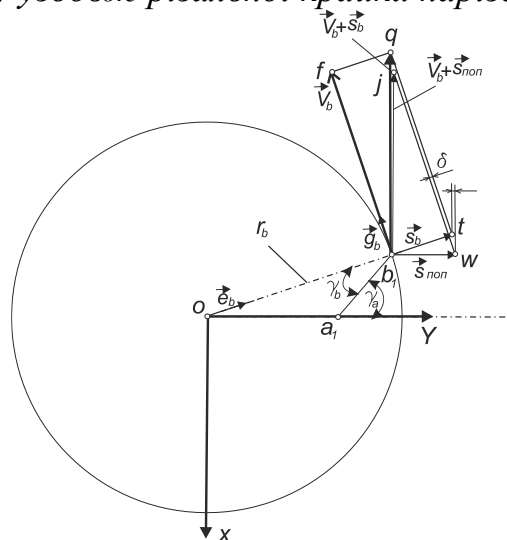


Рис. 3. Схема взаємного розміщення вектора швидкості головного руху та векторів поперечної подачі S_{non} і радіальної подачі S_b .



У довільній точці В різальної крайки показано вектор швидкості головного руху V_b , вектор подачі $S_{\text{поп}}$, а також вектор S_b . Останній відповідає вектору S із рисунка 1. Але у випадку якщо передній кут має ненульове значення вектори $S_{\text{поп}}$ і S_b є різнонаправленими, хоча обидва мають те саме значення за модулем. На рисунку 3 відображено схему появи похибки δ із-за неможливості відтворення під час точіння складового вектора S_b швидкості $V_b + S_b$. Її можна порахувати за формулою:

$$\delta = P \operatorname{tg} \phi (1 - \cos(\gamma_a - \gamma_b))$$

Отже вказана формула стосується довільної точки бічного профілю отриманої конічної нарізі.

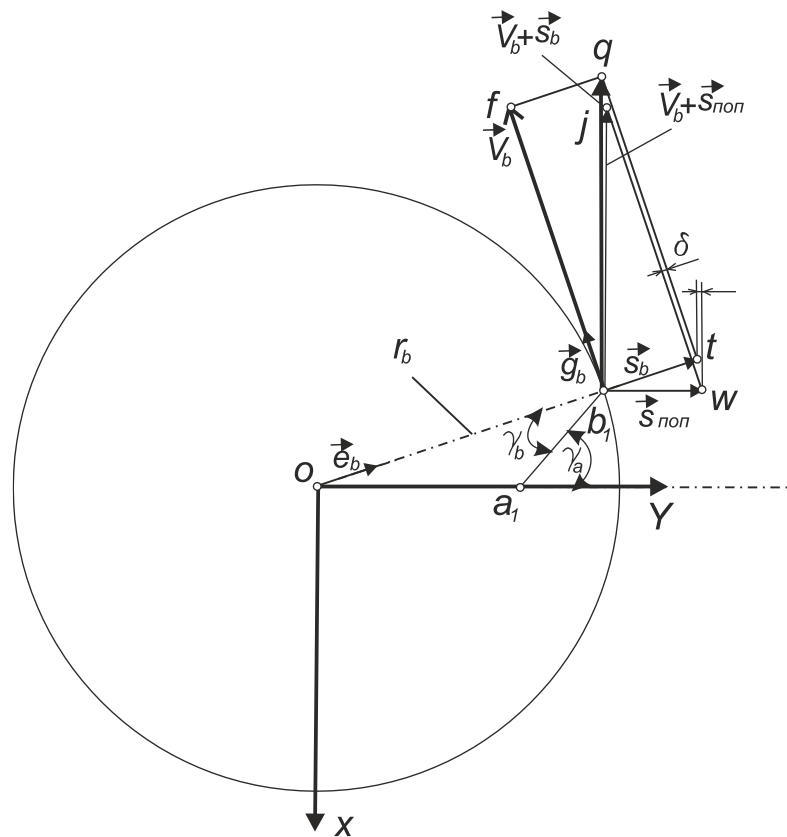


Рис. 3. Схема взаємного розміщення вектора швидкості головного руху та векторів поперечної подачі $S_{\text{поп}}$ і радіальної подачі S_b .



ТЕХНОЛОГІЯ РЕІНЖІНІРИНГУ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Пасічник В.А., д.т.н., професор, Воронцов Б.С., д.т.н., професор
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Одними з найпоширеніших і складних виробів в машинобудуванні є зубчасті колеса. На практиці часто доводиться ремонтувати машини вітчизняного та зарубіжного виробництва в конструкціях яких застосовуються деталі з нетрадиційними вихідними контурами зубчастих профілів; машини, що містять зубчасті колеса із значним зношуванням функціональних поверхонь тощо. Невідповідність вимог до норм кінематичної точності та плавності роботи зубчастих передач призводить до зниження їх експлуатаційних властивостей.

Для відновлення працездатності зношених зубчастих коліс використовують реінжиніринг – технологію, яка має широкі практичні перспективи, вимагає вирішення цілої низки проблем: раціонального обґрунтованого вибору методу, обладнання та програмного забезпечення з урахуванням особливостей промислових виробів [1,2].

В роботі [3] наведено загальну схему реінжинірингу промислових виробів, де цей процес умовно поділяється на 3 етапи. На першому етапі проводиться аналіз і підготовлення виробу до сканування, на другому – створення, редагування і конструкторське доопрацювання моделі, на третьому етапі – матеріалізація моделі з використанням різних технологій.

Така послідовність дій відповідає і технології реінжинірингу зубчастих зачеплень. На рис. 1 показано алгоритм дій при створенні зубчастих коліс. Залежно від того, яке зубчасте колесо необхідно відтворити, нове або зношене, вибирається подальша стратегія дій.

Далі необхідно отримати геометричну інформацію про зубчастому колесі. Цю інформацію можна отримати як використовуючи традиційні методи вимірювання, так і сучасні координатно-вимірювальні машини.

Головною проблемою є визначення вихідного контуру твірної поверхні, який повинен забезпечити поєднане зачеплення, що забезпечує постійне миттєве передавальне відношення передачі, і, по можливості, найкращі геометро-кінематичні показники зачеплення.

Після цих дій необхідно розробити еталонну комп'ютерну модель зубчастих коліс. Для цього геометрія робочої ділянки профілю зуба імпортується з програми синтезу зубчастого зачеплення.

Найбільш важливим завданням є синтез технології виготовлення зубчастих коліс. Від цього залежить якість і працездатність створюваної передачі.

Завершальним етапом є контроль отриманого зачеплення.

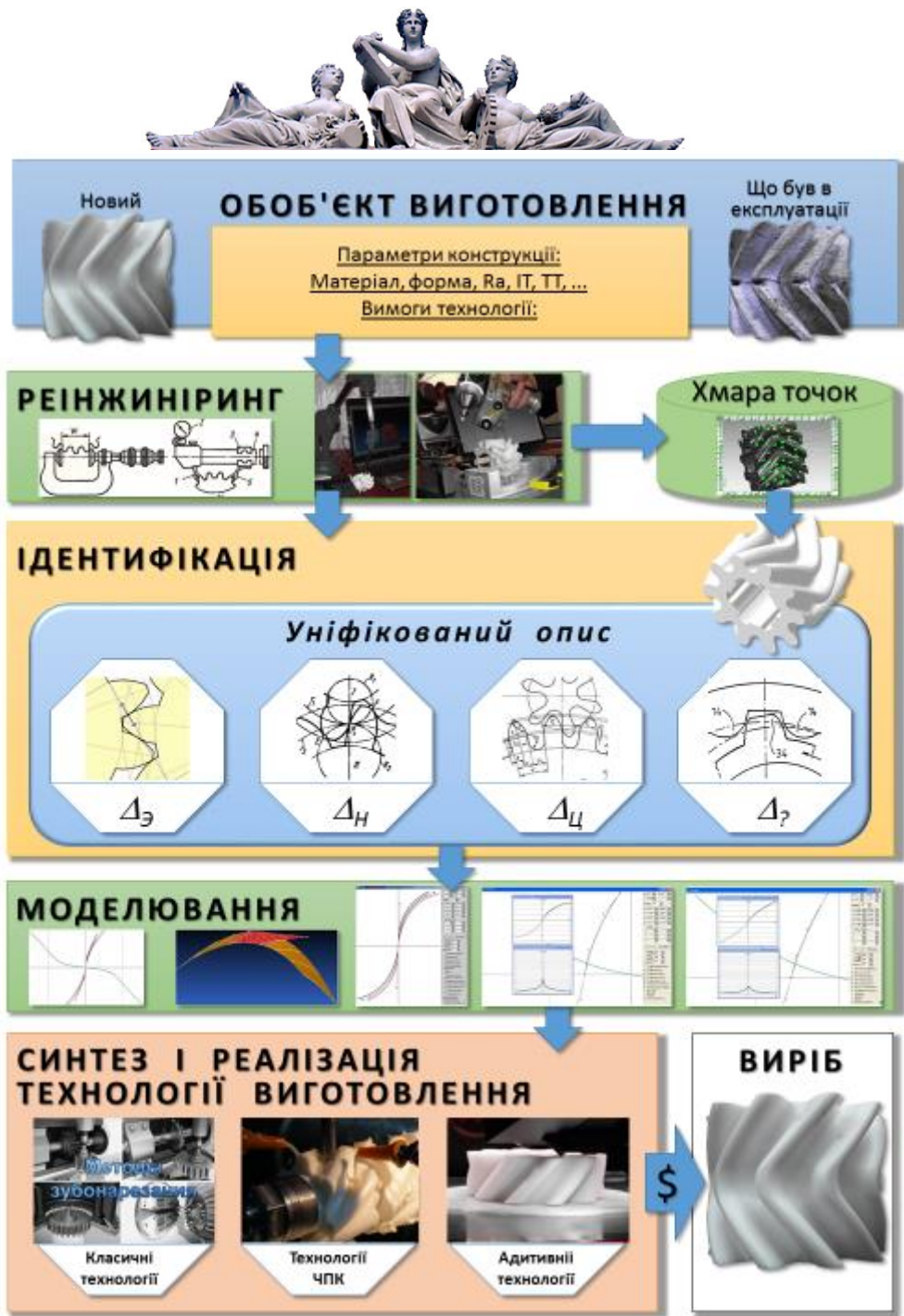


Рис. 1. Схема технології комп'ютерного реінжинірингу зубчастих передач

Література:

1. Грабченко А.И. Современное оборудование и программное обеспечение обратного инжиниринга промышленных изделий / А. И. Грабченко, В.Л. Доброскок, С.И. Чернышов, Я.Н. Гаращенко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПИ", 2010. – Вип. 5. – С. 138-152.
2. Воронцов Б.С. Наукові основи технології реінжинірингу зубчастих зачеплень / Б.С. Воронцов, В.А. Пасічник // Прогресивні технології в машинобудуванні: VI міжнар.наук.-техн. конф., 6-10 лют. 2017 р.: тези доп. – Львів: Львівська політехніка, 2017. – С. 28 – 30.
3. Доброскок В.Л. Обратный инжиниринг промышленных изделий с использованием оптико-цифровой установки объемного сканирования Imetric Iscan / В.Л. Доброскок, С.И. Чернышов, Я.Н. Гаращенко, Д.П. Сидорчук // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010 - Вип. 4. – С. 123-135.



СУЧАСНИЙ МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ КРУПНОГАБАРИТНИХ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ

**Пермяков О.А., д.т.н., професор, Ключко О.О., д.т.н., професор,
Старченко О.П., аспірант, Камчатна-Степанова К.В., аспірант**
Національний технічний університет «ХПІ», Харків

В машинобудуванні існують деякі методи обробки евольвентних крупногабаритних шліцьових з'єднань, які мають деякі недоліки. Для виготовлення конкурентоспроможної продукції машинобудування а також специфіка її експлуатації вимагає постійного підвищення точності, якості та продуктивності механічної обробки деталей. гарантування високого рівня цих показників є необхідною умовою технічного прогресу. Актуальним завданням виробництва шліцьових поверхонь є підвищення продуктивності операцій їх металообробки при забезпеченні заданої точності і якості деталей. Точність обробки прямо впливає на експлуатаційні якості і зносостійкість машин і має величезне значення при збільшенні їх швидкості і питомих навантажень. Крім того, закладена точність виготовлення виробу впливає безпосередньо на технологічний процес, вибір припусків, трудомісткість обробки деталей і складання машин. Збільшення точності забезпечує взаємозамінність деталей.

Підвищення продуктивності шліцеобробки дисковими профільними фрезами може бути досягнуто за рахунок установки на одній оправці двох трьох фрез і одночасної обробки зубів у відповідній кількості деталей, а також за рахунок застосування інтенсивних режимів різання. Так, при обробці інструментами з швидкорізальних сталей швидкість різання досягає 50 м/хв, подача - 180 мм/хв, при обробці твердосплавними інструментами відповідно 150 м/хв і 800 мм/хв. Продуктивність цього методу може в 2 – 2,5 рази перевищувати продуктивність при обробці черв'ячними фрезами за рахунок при відповідності відносини радіуса округлення різальної крайки фрези і режимами різання при досягненні мінімального кута ковзання при максимальному значенні коефіцієнта формоутворення..

Одним з ефективних заходів в напрямку підвищення продуктивності обробки евольвентних крупногабаритних шліцьових валів є розробка і впровадження нових високопродуктивних черв'ячних фрез з протуберанцем, що раніше не застосовувалась при шліцефрезеруванні. Значного зменшення основного технологічного часу при шліцефрезеруванні досягають застосуванням багатозахідних черв'ячних фрез збільшеного діаметру з протуберанцем для чергової обробки, що забезпечує гарантовану точність 6-7 квалітету точності при чистової обробки по ГОСТ 6033-80.

Для обробки бічних поверхонь шліців застосовується швидкісне фрезерування при забезпеченні якості поверхневого шару та експлуатаційних показників, при цьому способі формоутворення дно впадини зубів не обробляється, що забезпечує і підвищення стійкості черв'яних фрез.



ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Пилипець М.І., *д.т.н., професор*, Лясота О.М., *к.т.н., доцент*

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Підвищення продуктивності машин харчової та переробної промисловості, сільськогосподарських машин, робочий орган в яких шнековий механізм, вимагає розширення номенклатури шнекових деталей. Зазначені деталі виготовляють з гвинтових заготовок, які зазвичай мають складну геометричну форму, а тому, формоутворення їх є складним і праце містким [1]. Розглянемо особливості технологічного процесу виготовлення широкосмугових профільних гвинтових заготовок, які найбільше задовільняють вище зазначеним вимогам.

Одержання початкової заготовки можна виконати з рулонної стрічки, листового або фасонного прокату шляхом розрізування листів на смуги і мірні заготовки використовуючи устаткування заготівельних виробництв [2]. В першій операції виконуємо свердління отворів в смуговій (листовій) заготовці.

Наступною операцією буде виготовлення неперервно-секційної заготовки (НСЗ), (рис.1) вирізування на установці плазмового різання CUT-40 Jasic, (Компанія Shenzhen Jasic Technology CO., LTD), Power C40i (SHANGHAI TAYOR HEAVY INDUSTRI (GRUP) CO), або вирізування на лазерному станку для різки Laser ESG-600 CO₂ (розроблено компанією EqMech в Україні, виробництво Україна), різання віброінструментом, просіканням або перфораційним вирубуванням на штампах спеціальної конструкції.

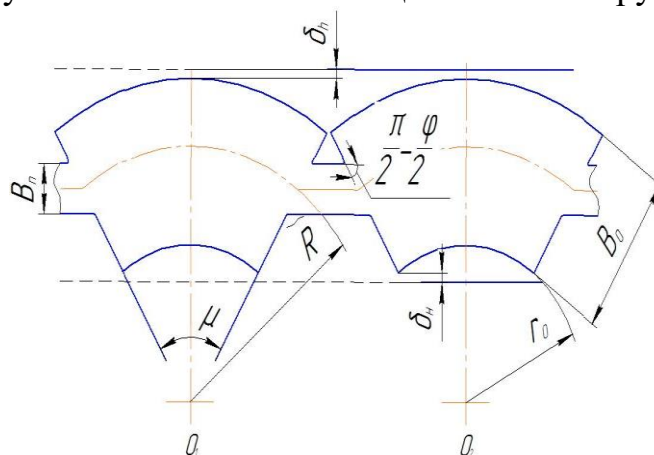


Рис. 1 Неперервно-секційна заготовка



Позначення на рисунку: μ - центральний кут кільцевої секції; R - радіус розміщення перемички відносно центру кільцевого сектору; B_0 – ширина смуги; B_n – ширина перемички; δ_h і δ_H - напуски від країв кільцевої секції (величина вибирається залежно від способу одержання НСЗ); r_0 – внутрішній радіус заготовки.

Ширину початкової заготовки вибираємо з залежності:

$$L_{п.з.} = B_0 + r_0 \sqrt{1 - 2 \cos \frac{\mu}{2} + \cos^2 \frac{\mu}{2}} + \delta_h + \delta_H, \quad (1)$$

Загальну довжину перемички визначено з геометричного співвідношення:

$$L_g = 2 \left[(r_0 + B_0) - \tilde{R} \right] \cos \frac{\mu}{2}, \quad (2)$$

В наступній операції виконуємо обтискування фасок на ребристих елементах неперервно-секційної заготовки (рис.2).

Після чого виконуємо формоутворення проміжних спіралеподібних заготовок шляхом холодного або гарячого формування гофрів на спеціальних штампах або навиванням на токарних верстатах з використанням спеціального пристосування.

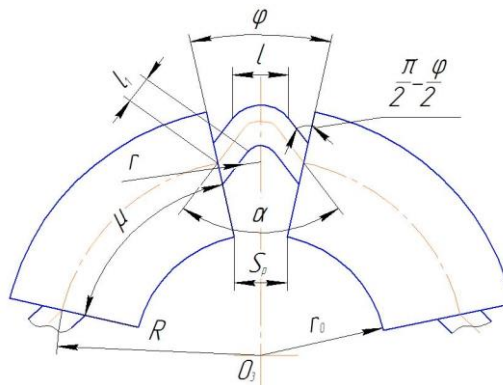


Рис. 2 Деформування гофри

Співвідношення між кутом зігнутої ділянки перемички і кутом гнуття є таким:

$$\varphi = 180^\circ - 2 \arctg \left[\frac{\tilde{R}}{2(r_0 + B_0) - \tilde{R} + \tilde{R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\mu}{2}} \right] = 180^\circ - 2 \arctg \left[\frac{1}{2\xi_R + \operatorname{tg} \frac{\mu}{2} - 1} \right], \quad (3)$$

Відстань S_p між крайніми сусідніми точками внутрішнього краю кільцевих секторів:



$$S_p = 2r_0 \cdot \sin\left(90 - \frac{\alpha}{2} - \frac{\mu}{2}\right) = 2 \cdot r_0 \cdot \cos \frac{\alpha + \mu}{2}. \quad (4)$$

Наступна операція калібрування на заданий крок (розтягування) заготовок до утворення гвинтового профілю.

Калібрування на заданий крок здійснюють по черговим деформуванням ділянок проміжної спіралеподібної заготовки на верстатах токарної групи з використанням спеціального пристрою або на спеціальному устаткуванні чи спеціально споряджених верстатах для вібраційного різання. Можна виконувати дану операцію на спеціальних штампах.

Операція розтягування використовується у випадку виготовлення одиничних заготовок вільним розтягуванням на токарному верстаті.

Заключним етапом виготовлення широкосмугової профільної гвинтової заготовки є операції викінчувального оброблення, до яких можна віднести протягування гвинтових заготовок, зміцнення, залицювання, хімічно-термічне покриття, покриття полімерами, миття та фарбування, покриття еластомерами.

Враховавши дані особливості виготовлення широкосмугових профільних гвинтових заготовок, дозволяє розширити технологічні можливості процесу їх виготовлення і, в результаті, забезпечує зменшення матеріальних вкладень у виробництво, розширення номенклатури й діапазону геометричних параметрів гвинтових заготовок, а також зменшення матеріаломісткості та працемісткості технологічних процесів виготовлення НСЗ.

Література:

1. Пилипець М.І., Васильків В.В., Радик Д.Л., Лясота О.М. Класифікація профілів гвинтових заготовок за геометричними формами // Вісник Інженерної академії України. – К: Видавництво МВС України, 2007. – Вип. 1. – С. 88 - 99.
2. Радик Д.Л., Васильків В.В., Драган А.П., Лясота О.М. До питання аналізу технологічних процесів виробництва різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин // Наукові нотатки. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2005. – Вип. 16. – С. 210 - 219.



МОДЕЛЮВАННЯ ПОРИСТОСТІ ПОРОШКОВОГО ПРОНИКНОГО МАТЕРІАЛУ СКЛАДНОЇ ФОРМИ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Повстяной О.Ю., к.т.н., доцент; Полінкевич Р.М., к.т.н., доцент, Четвержук Т.І., к.т.н., ст.викладач, Сичук В.А., к.т.н., доцент
Луцький національний технічний університет

Пористі проникні матеріали широко застосовуються в різних галузях сучасної промисловості [1-3]. Зокрема, вони використовуються в якості фільтрів, що забезпечують очищення рідин і газів.

Перспективним методом отримання фільтруючих елементів є радіально-ізостатичне пресування порошків [4, 5]. Форма одержуваних фільтруючих елементів може бути як простою, так і складною (рис.1).

Моделювання виконано на основі континуального підходу. В якості визначальних співвідношень використовували співвідношення теорії пластичності пористого тіла [6]. Визначення форми заготовки, що ущільнюється, а також полів щільності, напруг і деформацій виконано на основі методу скінченних елементів [7].

Моделювання виконано на основі континуального підходу. В якості визначальних співвідношень використовували співвідношення теорії пластичності пористого тіла. Визначення форми заготовки, що ущільнюється, а також полів щільності, напруг і деформацій виконано на основі методу скінченних елементів.

Розглядалися дві схеми ущільнення: радіальне (рис.1, а) та осьове (рис.1, б). Матеріал порошку, що ущільнюється – порошок сталі ШХ15. Початкова пористість фільтруючого елемента дорівнювала 0,7. Ущільнення відбувалося на оправку під впливом еластичного середовища, матеріал якого - поліуретан.

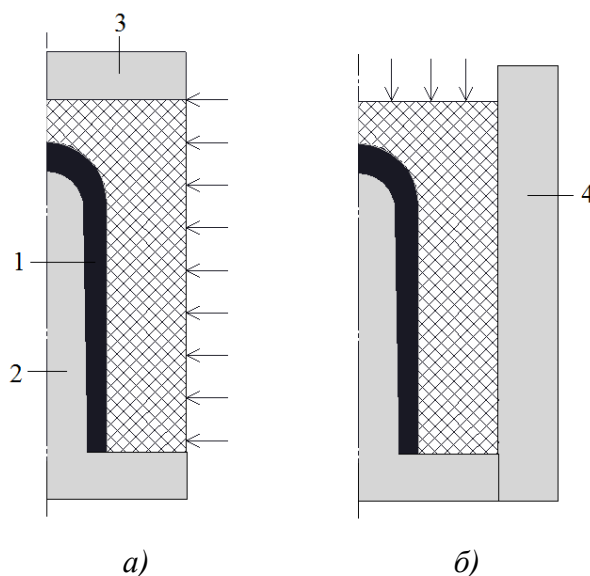




Рис.1. Схеми радіального (а) та осьового (б) ущільнення: 1 - порошок, що ущільнюється, 2 - оправка, 3 - кришка, 4 - стінка

При радіально-ізостатичному пресуванні порошкового фільтруючого елемента у вигляді колби розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації за об'ємом виробу нерівномірний і залежить від схеми ущільнення.

На першому етапі більш інтенсивно ущільнюється стінка, а на другому етапі - дно фільтруючого елемента. У результаті величини пористості та накопиченої пластичної деформації розподілені більш рівномірно (рис.2).

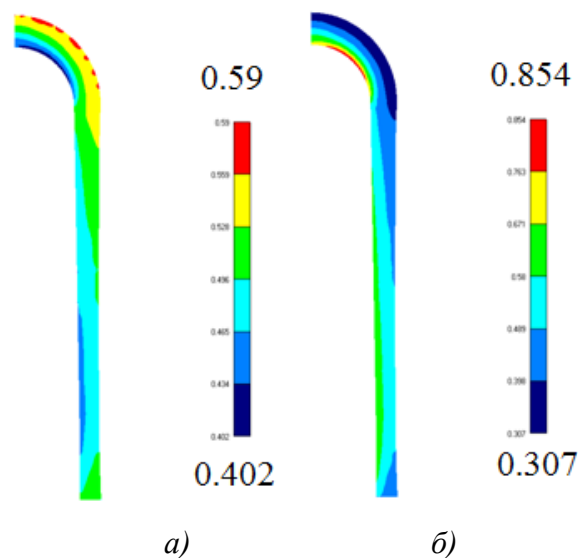


Рис.2. Розподіл пористості (а) та величини накопиченої пластичної деформації (б) при радіальному та осьовому ущільненні

Розглядалося пресування двошарових і тришарових фільтрів. При моделюванні ущільнення двошарових порошкових фільтрів величина внутрішнього діаметра еластичного елемента дорівнювала також 40 мм. Внутрішній діаметр еластичного елемента при пресуванні тришарового фільтра змінювався і підбирався для кожного шару окремо [8].

Для тришарового фільтруючого ППМ визначили розподіли пористості та накопиченої деформації при радіально-ізостатичному пресуванні (рис.3).

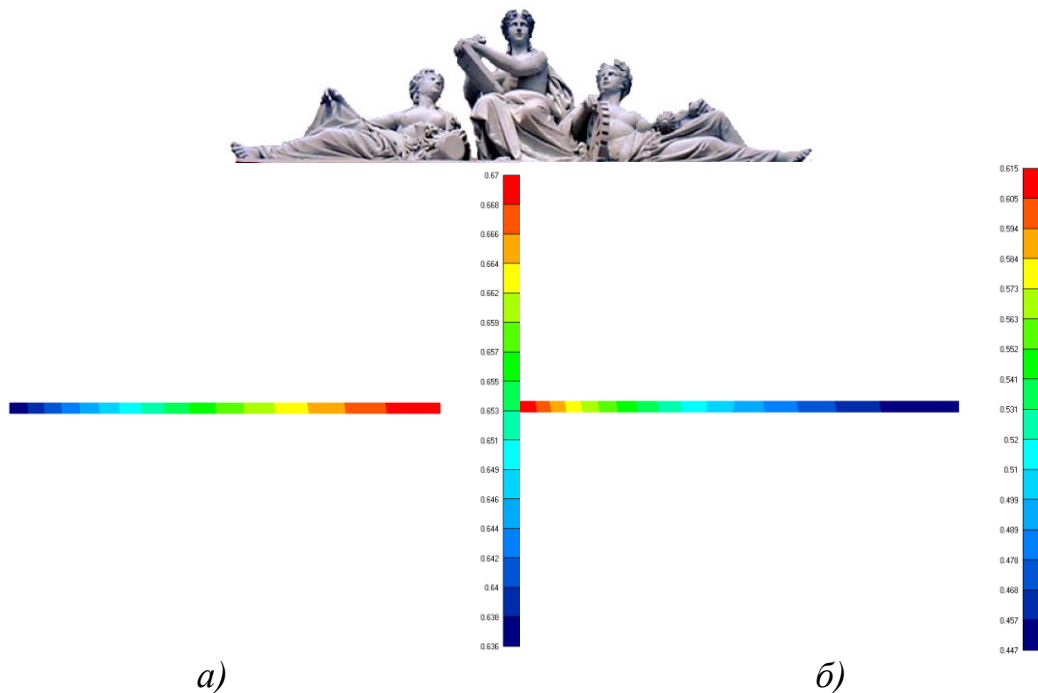


Рис.3. Розподіли пористості (а) та накопиченої деформації (б) ППМ при радіально-ізостатичному пресуванні

Проведено моделювання процесу радіально-ізостатичного пресування фільтруючого елемента складної форми у вигляді колби та тришарового ППМ, отриманого з порошку сталі ШХ15.

З результатів моделювання видно, що мінімальна пористість і максимальна накопичена деформація міститься у внутрішній поверхні, на зовнішній – навпаки.

Література:

1. Пористые проницаемые материалы: справочник / [ред. Белов С.В., Витязь П.А., Шелег В.К. и др.] / – М.: Металлургия, 1987. – 332 с.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении [2-е изд., перераб. и доп.] / Белов С.В. / – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
3. Витязь П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / Витязь П.А., Капцевич В.М., Шелег В.К. – Минск.: Вышэйшая школа, 1987. – 161 с.
4. Технології, структура, властивості пористих проникних матеріалів: / Монографія. / Рудь В. Д., Повстяной О. Ю., Заболотний О. В., Богінський Л. С. / Луцьк: РВВ ЛНТУ. – 2016. – 215с.
5. Заболотний О.В. Развитие процесів ізостатичного пресування ущільнювальних порошкових середовищ / Заболотний О.В., Повстяной О.Ю., Рудь В.Д. // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2001. – Випуск 9. – С. 152-156
6. Штерн М. Б. Модифицированные модели деформирования порошковых материалов на основе пластичных и труднодеформируемых порошков / О. В. Михайлов, М. Б. Штерн // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Машинобудування. – 2011. – № 62. – С. 13–19.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
8. Повстяной О.Ю. Моделювання ущільнення порошкового фільтруючого елемента складної форми при радіально-ізостатичному пресуванні / Повстяной О.Ю., Михайлов А.О., Рудь В.Д., Михайлов О.В. // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Науковий журнал. - №3.- Луцьк, 2019 - С.40 – 44.



КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ НЕТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИЛИВКІВ

**Пономаренко О.І., д.т.н., професор, Євтушенко Н.С., к.т.н., доцент,
Твердохлебова Н.Є., ст.викл., Косенко О.П.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Сьогодні в практиці проектування литих деталей застосовується ряд спеціальних програмних пакетів тривимірного проектування, а для вирішення завдань з моделювання процесів кристалізації використовується програма LVM Flow. Враховуючи, що вибір вихідних параметрів для комп'ютерного моделювання здійснює безпосередньо конструктор або технолог на основі особистого досвіду, буває проблематичним заздалегідь з великим ступенем ймовірності визначити правильність обраних технічних рішень. Питання, пов'язані з формалізацією процесів локалізації внутрішніх дефектів ливарного походження, повинні обов'язково вирішуватися на етапі комп'ютерного моделювання процесу кристалізації литої деталі. Тому отримання якісних виливків на основі використання нових методів і програмних продуктів Solid Works і LVM Flow є актуальним завданням ливарного виробництва.

Як об'єкт дослідження було обрано нетехнологічний виливок для шахтного устаткування.

Одним з можливих шляхів вирішення завдання підвищення якості таких виливків є застосування математичних і комп'ютерно-інтегрованих проектувань. Використання CAD \ CAE програм значно скорочує час на розробку технологічних процесів і виготовлення оснастки.

Спочатку нетехнологічний виливок «Спрямовуючий» був представлений в 3D системі за допомогою програм Solid Works LVM Flow. Виливок має вигляд перевернутого табурета з чотирма ніжками. У литві є велика кількість тонких і товстих стінок, які чергуються між собою. У місцях переходів були встановлені галтелі. Для ліквідації у внутрішніх кутах вилівка скупчення газоусадкової пористості було запропоновано дещо збільшити товщину ніжок.

Оскільки виливок має велику висоту, це вимагало спеціальних складів формувальних і стрижневих сумішей, щоб витримати гідростатичний напір металу, що заливається. Було запропоновано використовувати піщано-смоляну суміш.

Для ліквідації гарячих тріщин в литві при кристалізації в місцях сполучення кришки з ніжками було прийнято рішення встановити спеціальні стяжки між ніжками. Таке технологічне рішення усунуло появу тріщин у відливки.

Для ліквідації усадкових раковин в тілі відливки були випробувані дві екзотермічні вставки моделей OBG7 і OBG7 / 300 (відкритого типу) фірми



«Cukurova Kimya Industrisi». Для цього була використана програма LVMFlow. Екзотермічна вставка моделі OBG7 / 300 дозволила не допустити утворення усадки в тілі вилівка, а також підвищила ефективність роботи живлячих прибутку за рахунок екзотермічної реакції при контакті розплаву з елементом і газовим тиском в прибутку; знизилася брак за дефектами усадочного характеру; зменшилася металоємність прибутку (до 40%) і технологічні припуски на механічну обробку прибуткових місць з 15 ... 20 мм до 4 ... 5 мм.

Це дозволило заощадити витрати сплаву за рахунок прогнозування появи місць дислокації дефектів, зменшити брак виливків, а також дало можливість перевірки деталі на різні види міцності навантажень на її віртуальній моделі.

Питання про поліпшення техніко-економічних показників отримання зносостійких сталей виникло давно і залишається актуальним до сьогоднішнього дня. Поширеним прикладом може служити «сталь Гадфільда» (110M13Л). Основна її властивість полягає в здатності до наклепу, завдяки якій деталі, в процесі експлуатації, отримують високу твердість і не здобувають крихкості. Найбільш часто її застосовують для дробильних установок, ковшів екскаватора на гірничодобувних підприємствах. Ці підприємства зацікавлені в отриманні деталей з максимальним ресурсом використання.

Метою роботи є визначення впливу легуючих добавок на стійкість зуба ковша кар'єрного екскаватора і отримання оптимального хімічного складу сталі для роботи в заданих умовах.

Для проведення аналізу та розрахунків були обрані легуючі добавки, здатні вплинути на стійкість сталі Гадфільда в умовах рудодобичі при роботі на кар'єрних екскаваторах. В якості основних легуючих елементів були обрані молібден, ванадій, марганець, вуглець і кремній.

В ході досліджень було визначено вплив легуючих елементів на стійкість виливків в умовах робіт з твердими породами - співвідношення вуглецю до марганцю і оптимальна кількість кремнію, вплив молібдену і ванадію на стійкість виливків, розміру зерна і структури металевої решітки. Проведено виробничі випробування виливків.

За отриманими даними побудовані діаграми, визначено оптимальний хімічний склад сталі Гадфільда, визначені техніко-економічні показники модифікацій сталі.



ДО ПИТАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ПЛАСТИН ЗІ СКЛОПОДІБНОГО $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

¹Проц Л.А., к.т.н., доцент, ¹Головей В.М., д.х.н., ²Лавріненко В.І., д.т.н., професор.

¹Інститут електронної фізики НАН України (м. Ужгород).

²Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ)

Широко відомо, що склоподібні сполуки на основі лужноземельних боратів поступово знаходять своє промислове застосування. Ці, нові, матеріали можуть бути використані як тверді електроліти у різних електрохімічних пристроях, тощо. А п'єзохарактеристики ситалів на основі тетраборату літію $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (ЛТВ) виявилися не набагато гіршими, ніж у монокристалічних зразків, завдяки чому можуть застосовуватися для виготовлення гідрофонів, тощо [1]. Для проведення деяких оптичних досліджень на склоподібних зразках боратів літію $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (ЛТВ) виникає необхідність виготовлення робочих елементів з високими геометричними вимогами (8 x 4 x 0,5 мм), чистоти поверхні $P III - P IV$ [2] паралельності 0,02 мм, площинності $N 8$ [3] та шорсткості $R_{max} < 0,025$ мкм. Оптична спектроскопія яка лежить в основі багатьох досліджень дає певний спектр результатів, що необхідні для створення матеріалів при використанні їх в якості активних елементів оптичних і оптоелектронних пристроїв, комірок пам'яті, сонячних елементів, фотокаталізаторів, тощо. Проведення більшості оптичних досліджень вимагає наявності якісних робочих поверхонь квантових приладів. Отже, виготовлення таких поверхонь є актуальною необхідністю. У свою чергу, якісне виконання фінішної операції полірування є невід'ємною складовою технологічних процесів механічної обробки. У зв'язку з різними механічними властивостями нових матеріалів, здебільшого невідомих, для одержання оптичних поверхонь з високими вимогами до якості технологія механічної обробки потребує постійних суттєвих досліджень.

У зв'язку з відсутністю відомостей по виконанню технологічного циклу механічної обробки для виготовлення робочих елементів квантових пристроїв на основі вищенаведеного сплаву проведення представлених досліджень є актуальним та своєчасним. Такі пошукові роботи провадяться співробітниками інститутів НАН України: Інститутом електронної фізики та Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля. Собівартість виготовлення оптичних поверхонь суттєво залежить від виконання фінішної механічної обробки. Вірогідність пошкодження поверхневого шару, може призвести не лише до втрат граничнодопустимих розмірів оптичних деталей а і до повного руйнування заготовок з нових перспективних сплавів. Зазвичай, таке руйнування відбувається внаслідок негативної дії потрапляння і заклинювання твердих частинок продуктів різання під час виконання операцій фінішної обробки.



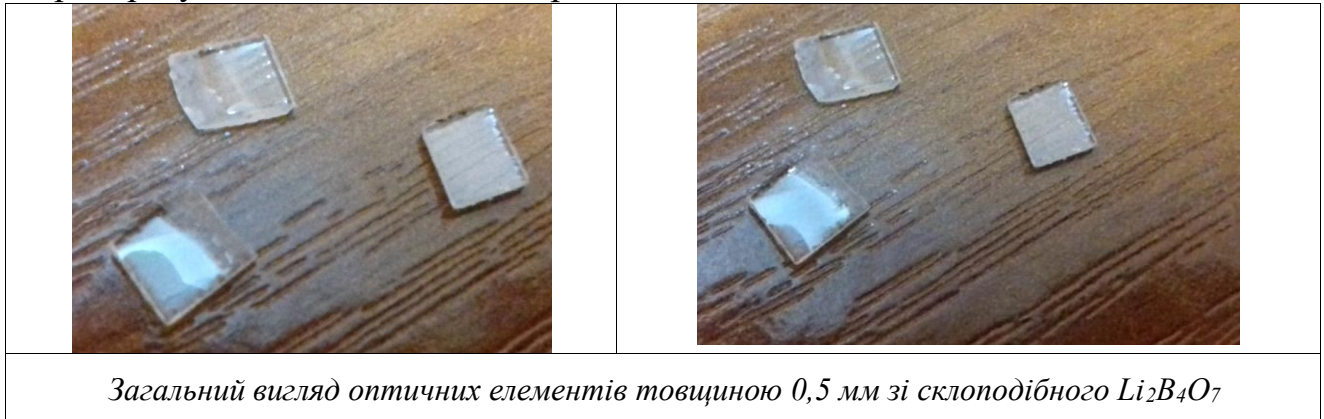
Однією з проблем виготовлення такого роду робочих елементів з тонких пластин ЛТВ насамперед пов'язано з недостатньою площинністю оброблюваних зразків [4]. Насамперед, це обумовлено різницею коефіцієнту лінійного розширення матеріалу заготовок з ЛТВ та підкладки, на який вони кріпляться для проведення технологічних процесів механічної обробки. Ця різниця може бути одним з факторів руйнування зразків під час виготовлення тонких полірованих пластин зі склоподібного тетраборату літію при виконанні процесів механічної обробки.

Мета даної роботи полягала у підвищенні точності формування плоскої поверхні склоподібних пластини ЛТВ.

Під час виконання досліджень, нами було застосовано раніше розроблений та впроваджений спосіб виготовлення пластин, який дозволяв отримувати пластини малої товщини [5].

В результаті виконання роботи одержані робочі елементи з наступними параметрами: товщина складала $0,5$ мм, чистота поверхонь відповідала $P III - P IV$, паралельність у межах $0,018 - 0,02$ мм, площинність $N 5 - N 8$ та шорсткість Ra у межах $3,5 - 6,5$ нм.

Загальний вигляд одержаних тонких оптичних елементів зі склоподібного тетраборату літію показано на зображенні.



Загальний вигляд оптичних елементів товщиною $0,5$ мм зі склоподібного $Li_2B_4O_7$

Література:

1. Байса Н.Д, Теплопровідність тетраборату літію в інтервалі температур $5-300$ К / Н.Д. Байса, З. Трибула, В.М. Різак, І.М. Різак, В.М. Головей // Укр. фіз. журн. – 2002. – Т.47, № 6. С. 568 – 572.
2. Optical parts. Classes of cleanness of surfaces. Methods of control ГОСТ 11141-84.
3. Unified system of design documentation. Representation of limits of forms and surface lay-out on drawings ГОСТ 2.308-2011.
4. Справочник технолога-оптика/под ред. М.А. Окатова; изд. 2-е.–СПб.: Политехника, 2004.
5. М.А.Окатов, Э.А.Антонов и др. Справочник технолога-оптика. // под. ред. М.А.Окатова, 2-е издание перераб. и доп. «Политехника». СПб.: 2004. – 679 с.
6. Патент на винахід № 94105 МПК(2011.01) В 24В 1/00, В 24В 37/04, В 24В 21/00. Спосіб виготовлення пластин/ Шпирко Г,Н, Рубіш В.Н., Проц Л.А., Ткаченко В.І. Ужгородський науково технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації Інститут проблем реєстрації інформації НАН України. 11.04.2011, заявл. 30.12.2008, опубл. 11.04.2011. Промислова власність, Бюл. №7.



ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Романчук Я.П., к.ф.-м.н., доцент

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Створення багатьох роз'ємних і нероз'ємних з'єднань сучасних машинобудівних конструкцій відповідального призначення тісно пов'язане з впливом на них у процесі виготовлення висококонцентрованих потоків теплової енергії. Внаслідок такого впливу утворюються залишкові напруження і деформації, які можуть приводити до зниження міцнісних і геометричних параметрів як окремих елементів, так і конструкції в цілому.

З метою оптимізації напружено-деформованого стану зварюваних тонкостінних елементів пластинкового чи оболонкового типу були запропоновані режими додаткового попереднього локального підігріву [1], а також оптимальні режими локального відпалу кільцевих і поздовжніх зварних швів у циліндричних оболонках (трубах) [2-4]. За критерій оптимізації приймався мінімум функціоналу енергії формозміни елементів під час відповідного технологічного процесу.

Розглянемо розрахункову схему для двох, зварюваних по довжині тонких пластин, які при цьому додатково локально підігріваються. З урахуванням симетрії далі розглядається вільна на краях пластина, що знаходиться під дією сумарного плоского температурного поля

$$t(x, y, \tau) = t_0(x, y, \tau) + t_1(x, y, \tau), \quad (1)$$

де $t_0(x, y, \tau)$, $t_1(x, y, \tau)$ – температурні поля зварювання і підігріву відповідно, τ – час.

Вважається, що в області S пластини, де температурне поле $t < t_k$, локальним підігрівом забезпечуються умови пружного деформування (t_k – температура, при якій пружні характеристики матеріалу стають рівними нулю).

Оптимальні температурні поля додаткового підігріву $t_1(x, y, \tau)$ визначали з умови мінімуму функціоналу енергії формозміни

$$U = \frac{2(1+\nu)}{3E} \iint_S (\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + 3\sigma_{xy}^2) dx dy, \quad (2)$$

де ν , E – пружні характеристики матеріалу, $\sigma_{ij}(i, j = x, y)$ – відповідні компоненти напруженого стану.

Для спрощення розрахункової схеми приймали, що шов укладається одночасно по довжині l (координата x), температурне поле зварювання брали у вигляді, запропонованому Н. Рикалінім [5], а температурне поле додаткового підігріву визначалося в смузї $[y_1, y_2]$.



Як додаткові умови, що накладалися на температурне поле підігріву та напружений стан, використовували наступні:

$$\sigma_{xx}^c(y_m, \tau) = k_0 \sigma_T, t_1(x, y_1, \tau) = 0, t_1(x, y_2, \tau) = 0, \frac{dt_1(x, y_2, \tau)}{dy} = 0, \quad (3)$$

де σ_{xx}^c – температурні напруження, зумовлені сумарним температурним полем (1), $y = y_m(\tau)$ – поздовжній переріз, у якому температурні напруження при зварюванні без підігріву рівні границі течіння σ_T матеріалу пластини, k_0 – заданий коефіцієнт зниження рівня сумарних напружень у перерізі $y = y_m(\tau)$.

Проведені числові дослідження знайдених оптимальних температурних полів локального додаткового підігріву показали вплив їх градієнтності в напрямку зварюваних країв пластин на сумарні температурні напруження.

Були встановлені оптимальні профілі температурних полів підігріву в залежності від матеріалу зварюваних пластин (сплави АМг-6, М-40, ОТ4, сталі Ст3, 10Х18Н10Т), їх товщини, ширини зони підігріву, обмежень на рівні сумарних напружень.

Література:

1. Бурак Я.И., Романчук Я.П., Казимиров А.А. и др. Выбор оптимального поля предварительного подогрева пластин при сварке // Автоматическая сварка. – 1979. – № 5. – С. 15 – 19.
2. Романчук Я.П. Оптимізація напруженого стану циліндричної оболонки з допомогою локального підігріву // Доповіді АН УРСР. – Сер. А. – 1976. - № 12. – С. 1104 – 1107.
3. Галазюк А.В., Романчук Я.П. Оптимизация остаточного напряженного состояния цилиндрической оболочки с продольным сварным швом в процессе его локального отжига // Известия АН СССР. МТТ. – 1990. – № 1. – С. 43 – 47.
4. Романчук Я.П. Оптимизация напряженно-деформированного состояния сварных оболочечных конструкций / Материалы XVI международного симпозиума имени А.Г.Горшкова «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» (Ярополец, Москва, 15-19.02.2010). – Т1. – Ч.: ГУП ИПК «Чувашия», 2010. – 196 с. (С. 148 – 149).
5. Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 272 с.



АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ ЗАХИСНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ НАПОВНЕНИХ ВИСОКОДИСПЕРСНИМИ ПОРОШКАМИ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ

**Савчук П.П., д.т.н., професор, Кашицький В.П., к.т.н., доцент, Мороз І.А.,
к.х.н., доцент, Садова О.Л., к.т.н., Матрунчик Д.М.**

Луцький національний технічний університет

В промисловості металеві покриття застосовують для захисту конструкційних матеріалів від корозії, надання поверхні виробам декоративного вигляду і спеціальних властивостей [1]. Однак ефективною заміною є більш дешеві неметалеві покриття, які є більш стійкими до впливу агресивних середовищ, циклічних температур та вологості. До останніх відносять декоративні лакофарбові та захисні полімерні покриття, які забезпечують підвищення тривалості експлуатації металевих деталей машин та механізмів [2]. Перспективними в даному плані є епоксидні смоли, на основі яких виготовляють лакофарбові покриття для захисту елементів приладів хімічної промисловості, в будівельній та машинобудівній галузях [3]. Епоксидні смоли у своєму складі мають реакційноздатні епоксидні і гідроксильні групи, що здатні вступати в хімічні реакції з різними речовинами з утворенням складніших з'єднань. При введенні в них твердників холодної або гарячої дії дані смоли здатні переходити в неплавкий і нерозчинний стан, що забезпечує міцне адгезійне з'єднання з металевою поверхнею субстрата в умовах підвищеної вологості та понижених температур [4]. Однак вироби, отримані затвердінням епоксидної смоли при нагріванні, є довговічніші через завершення процесів формування хімічних зв'язків між реакційноздатними групами компонентів композиції. Широке застосування епоксиолімерів обумовлено їх технологічністю в процесі формування композиції та нанесенні покриттів. Суттєвим недоліком епоксиолімерних покриттів є низька ударна в'язкість, що обмежує їх використання в умовах динамічних навантажень, однак здатність до модифікації структури епоксиолімерної сітки забезпечує можливість вирішення даної задачі.

Введення до складу епоксиолімерної матриці наповнювачів та модифікаторів призводить до зміни конфігурації полімерної сітки, що впливає на когезійну та адгезійну міцність захисного покриття. При цьому домінуючий вплив мають значення адгезійної міцності, оскільки когезійна міцність композитного матеріалу в значній мірі визначається міцністю зчеплення між матрицею та частинками наповнювача, Тому метою роботи є дослідження адгезійної міцності епоксикомпозитних покриттів, що містять високодисперсні частинки оксидів металів, які попередньо були апретовані полівінілхлоридом.

Дослідження адгезійної міцності проводили методом нормального розриву металевих стержнів, з'єднаних між собою епоксикомпозитним матеріалом за



допомогою розривної машини марки УММ-5. До складу епоксиполімерної композиції на основі епоксидної смоли марки ЕД-20 та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) вводили високодисперсні порошки оксиду титану (IV), оксиду хрому (III) та оксиду алюмінію (III).

Введення до складу епоксиполімерної матриці високодисперсного порошку оксиду титану з розміром частинок 15-20 мкм призводить до значного зниження адгезійної міцності епоксикомпозитів на 25-35 % порівняно з ненаповненим епоксиполімером. Адгезійна міцність епоксикомпозитів з порошком оксиду хрому (III) є також нижчою на 10-15 % порівняно з ненаповненим епоксиполімером. Введення порошку оксиду алюмінію призводить до підвищення адгезійної міцності епоксикомпозитів на 5-10 %. Зниження адгезійної міцності епоксикомпозитів наповнених високодисперсними порошками оксиду титану та оксиду хрому обумовлене наявністю частинок порошку в агломерованому стані через високу поверхневу енергію та підвищену вологість при тривалому зберіганні порошку. Після просушування даних порошків протягом 6 год при температурі 150 °С та просіювання через сито з розміром комірок 0,014 мм адгезійна міцність епоксикомпозитів, наповнених порошком оксиду титану, зросла на 15-25 % та 10-15 % для епоксикомпозитів, що містять порошок оксиду хрому. Просушування порошку оксиду алюмінію забезпечило зростання адгезійної міцності епоксикомпозитів на 5-10 %, що вказує на вищу гідрофобність порошку оксиду алюмінію порівняно з порошками оксиду титану та оксиду хрому.

Підвищення стійкості до динамічних навантажень матеріалів на основі епоксидних полімерів можливе за рахунок введення модифікуючих добавок, які мають високу еластичність макромолекулярних ланцюгів. В більшості випадків до складу епоксидної смоли на стадії формування композиції вводять модифікуючі добавки у в'язкотекучому стані, макромолекули яких рівномірно розподіляються в об'ємі полімеру та утворюють фізичні або хімічні зв'язки між компонентами системи. Даний спосіб модифікації структури полімеру не забезпечує в повній мірі утворення хімічних зв'язків між полімерною матрицею та поверхнею частинок наповнювача. Тому ефективним є спосіб апретування поверхні частинок модифікатором, після чого їх вводять до складу епоксиполімерної матриці.

Враховуючи високу адгезійну міцність та високу технологічність в процесі формування покриттів методом пневматичного розпилення для подальших досліджень вибрано порошок оксиду титану, який апретували полівінілхлоридом. При цьому відбулося підвищення адгезійної міцності епоксикомпозитів на 58 % при вмісті порошку оксиду титану в кількості 6 мас.ч. Це пов'язано з оптимальним вмістом даного порошку в епоксиполімерній матриці, частинки якого піддаються змочуванню та диспергуванню в процесі приготування композиції.



Отже, встановлено доцільність використання термопластичних модифікуючих добавок для апретування поверхні мінеральних порошків, що дозволяє підвищити адгезійну міцність компонентів в епоксиполімерній матриці, а також покращити фізико-механічні та експлуатаційні властивості захисних покриттів на основі епоксидних полімерів.

Література:

1. *Покриття у приладобудуванні: монографія / В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко та ін. - Київ: НТУУ «КПІ». Вид-во «Політехніка». 2016. - 360 с.*
2. *Братичак М. М. Захисні полімерні плівки на основі епокси-олігоестерних композицій / М. М. Братичак, М. М. Братичак, Н. В. Чопик // Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка. - 2011. - Вип. 42. - С. 67-71.*
3. *Букетов А. В. Захисні епоксикомпозитні покриття з полішеними антикорозійними властивостями і зносостійкістю / А. В. Букетов, М. Ю. Амелін, О. М. Безбах, Р. Ю. Негруца // Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2018. - № 2. - С. 11-18.*
4. *Кашицький В.П. Вплив понижених температур на механічні характеристики епоксикомпозитів / Кашицький В.П., Щеглов С.М. // Наукові нотатки. – Випуск 57. – Луцьк, 2018. – С. 83-87.*

ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ СТІНОК ОТВОРІВ У ШАРОШЦІ НА НАДІЙНІСТЬ З'ЄДНАННЯ "ШАРОШКА-ЗУБОК"

¹Сліпчук А.М., к.т.н., доцент, ²Яким Р. С., д.т.н., проф.,

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка

Обертання шарошки по вибою створює умови постійної зміни орієнтації напрямку дії навантажень як на породоруйнівне оснащення, так і на вінці шарошки. Тому в сучасних конструкціях породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт застосовують різноманітні поєднання твердосплавних зубків, із різними конструкціями вражаючої породи частини, так і їхнім розташуванням на вінцях [1,2]. Відтак, важливою та актуальною проблемою в долотобудуванні є встановлення раціональних конструкцій породоруйнівного оснащення шарошок, що реалізують оптимальні розподіли напружень в тілі шарошок та на породоруйнівні елементи.

Сучасна технологія виготовлення тришарошкових бурових доліт передбачає холодне запресовування твердосплавних вставних зубків у тіло шарошки та утворення надійного з'єднання. На виробництві застосовується система натягів для кожного типорозміру зубка відповідно до твердості тіла шарошки. Для забезпечення точності з'єднання в заданих границях здійснюється контроль якості формоутворення отворів на усіх стадіях:



зенкерування після цементації, гартування і високого відпуску, розвертання після гартування і низького відпуску.

Для різних типорозмірів шарошок застосовують спеціальні долотні сталі: 14ХНЗМА, 15НЗМА 17НЗМА, 20ХНЗА. Шарошки піддають складній технології зміцнення на основі цементації, що ґрунтовно описана в [3]. Це забезпечує високі показники по зносостійкості, ударної в'язкості шарошок. Проте, високі показники твердості вінців шарошок, у які запресовувалися вставні твердосплавні зубки не забезпечували надійного з'єднання «зубок-шарошка» через утворення тріщин та випадання вставних зубків. Тривалий час у долотобудуванні застосовували технологію вифрезювання площадок на поверхнях вінців чи прорізування на глибину цементованого шару, як це рекомендується в [3]. За останнє десятиліття така технологія не застосовується через значну трудомісткість процесу, пере розхід долотної сталі, розхід інструменту, знос верстатного парку тощо. Економнішою технологією є захист вінців аницементаційною пастою перед цементацією шарошок. Недоліком цієї технології є виникнення випадків непрогнозованого «пробою» захисного шару та виникнення ділянок насичених вуглецем. Такий комплекс проблем створює цілий ряд підвищених вимог щодо якості та зносостійкості інструменту та підвищення точності виконання операцій формоутворення отворів під посадку вставних твердосплавних зубків.

На основі численних експериментів на різних типорозмірах твердосплавних зубків встановлено, що параметри шорсткості стінок отворів у шарошці мають надзвичайно важливе значення. Зокрема, при високих показниках R_a ми отримали (на різних стадіях), значно менші зусилля при випресовуванні зубка. І навпаки, якщо параметр шорсткості R_a були невеликі (близько 0,1 мкм), з'єднання «шарошка-зубок» було міцнішим. Оскільки фізико-механічні показники плавок сталей, конструктивний варіант розташування твердосплавних зубків у вінцях шарошки, типорозміри зубків дають доволі значне розсіювання показників (рис.) тому до сьогодні актуальним є розробка раціональних параметрів шорсткості при запресуванні.

Скористувавшись рекомендаціями [3], виявили, що змочування зубків у окислений парафін зменшує пластичну деформацію стінок отворі у двічі. Це уможлиблює підвищувати значення натягу і з'єднання.

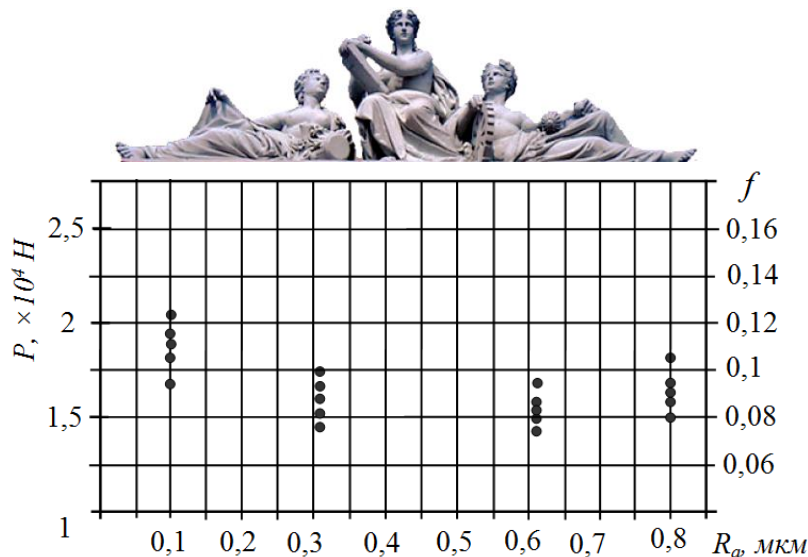


Рис. Вплив шорсткості стінок отворів у шарошці і коефіцієнта тертя на зусилля випресовування вставлених твердосплавних зубків типового профілю хвостовика

Література

1. Сліпчук А.М. Яким Р.С. Покращення якості технології процесу запресовування зубків у шарошки бурових доліт. *Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць.* – Харків, НТУ “ХП”, 2017. – Вип. 1 (27). – 186 с. 134-143с.
2. Сліпчук А.М. Яким Р.С. Покращення якості технології процесу запресовування зубців у шарошки бурових доліт. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”.* Львів. – 2017. № 867 С.69-77.
3. Яким Р. С. *Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія / Р. С. Яким, Ю.Д.Петрина.* – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.

ОСОБЛИВОСТІ КОМП’ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ КАНАТНИХ ДОРІГ

Сологуб Б.В., к.т.н., доцент, Данило Я.Я., ст.викладач
Національний університет “Львівська політехніка”

Пасажирські канатні дороги широко використовуються на зимових базах відпочинку. За останні роки значно зросла їх кількість у регіонах Карпат. Їх експлуатація підвищує комфортність відпочиваючих і приносить значні прибутки. Однак першочерговим завданням є забезпечення безпеки роботи витягів та вибір оптимальних параметрів, які дозволять досягти довговічності основних елементів. Дослідженню та проектуванню складних канатних систем завжди приділялася значна увага. Для розробки нових канатних систем необхідно вибрати раціональні схеми окремих варіантів, встановити зв'язки між елементами установки, визначити зовнішні сили, що діють на систему, а також закономірності взаємодії окремих елементів між собою.

Пасажирські канатні дороги широко використовуються для перевезення людей в гірській та пересіченій місцевості. В деяких випадках альтернативи



канатному транспорту взагалі немає, тому що прокладка автомобільних доріг або неможлива взагалі, або веде за собою значні витрати і збільшує протяжність доріг в декілька разів.

Найбільше використання отримали підвісні пасажирські канатні дороги для перевезення туристів та лижників. Вони служать головним засобом транспортного забезпечення гірських туристичних та лижних комплексів.

Пасажирські канатні дороги з тягово-несним канатом, порівняно з іншими дорогами, прості в конструкції та експлуатації за рахунок того, що крісла або напіввідкриті кабіни не відчіпляються від канату, а рухаються разом з ним безперервно. Порівняно невелика вартість і висока пропускна здатність, а також простота і надійність створили умови для значно більшого будівництва таких доріг порівняно з іншими.

Важливою задачею є розробка методики для визначення зусиль з врахуванням динамічних навантажень, а також оптимальний вибір конструктивних параметрів пасажирських доріг.

Аналіз роботи таких установок показав, що основним резервом підвищення їх надійності та ефективності є забезпечення оптимальних умов роботи при проходженні тягово-несного канату через опорні ролики проміжної опори. При проходженні вітки тягово-несного канату з зажимами, на яких підвішені крісла через опорні ролики у контактуючій парі виникають значні динамічні навантаження і контактні напруження, які приводять до зношування як канатів так і напрямних роликів. Для рівномірного розподілу зусиль між роликками їх виконують у вигляді шарнірно-з'єднаних батарей.

Для правильного вибору параметрів канатної дороги і швидкості руху канату необхідно визначити зусилля, що виникають в процесі роботи дороги. З цією метою розроблено математичну модель роботи канатної дороги.

Отримані залежності для визначення величини тиску канату на проміжну опору, а відповідно і проміжні напруження. Це дає можливість, з умови міцності, визначити основні параметри опори, які забезпечать оптимальні умови роботи пасажирської канатної дороги.

На основі моделювання конструкцій пасажирських канатних доріг визначаються основні параметри, що впливають на ефективність їх роботи.

Література:

1. Беркман М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. Подвесные канатные дороги. – М.: Машиностроения, 1984. – 264 с.
2. Мартинців М.П., Адамовський М.Г., Сологуб Б.В. Особливості розрахунку систем із замкнутим рухомим тягово-несним канатом. // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Вип. 19.8. – Львів: НЛТУ України. 2009. – С. 146-152.
3. Мартинців М.П., Сологуб Б.В., Матійшин М.В. Динаміка та міцність підвісних канатних систем. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. -188 с.
4. Сологуб Б.В., Данило Я.Я. Підвісна канатна крісельна дорога. Патент на корисну модель №97581 від 25.03.2015 р., 5с.



РОЗРАХУНОК КОМПОЗИТНИХ МАШИНОБУДІВНИХ МАТЕРІАЛІВ З ДЕФЕКТАМИ ТИПУ РОЗШАРУВАННЯ

Трубачев С.І., к.т.н., доц., Кривова С.Г., к.т.н., ст.викл.

НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Сучасне машинобудування ставить завдання створення та використання матеріалів з поліпшеними експлуатаційними показниками. На відміну від традиційних (ізотропних) матеріалів композиційні матеріали мають підвищену міцність, корозійну стійкість, зносостійкість, підвищену довговічність.

Композиційні матеріали шаруватої структури, володіючи високою міцністю, досить чутливі до дефектів типу розшарування, що з'являються в процесі їх виготовлення та експлуатації. Таким чином, розробка науково обгрунтованих алгоритмів і методів розрахунку машинобудівних виробів з композиційних матеріалів з дефектами є актуальною задачею.

У даній роботі розглядаються задачі стійкості тонкостінних пластин при наявності дефектів типу розшарувань. Об'єктом дослідження є пластина, яка має локалізовані області міжшарових дефектів у вигляді наскрізного прямокутного відшарування. Завдання вирішені з урахуванням геометричної нелінійності за допомогою енергетичного підходу. Використання енергетичного підходу дозволяє отримати явні аналітичні вирази для величин, що характеризують критичне навантаження і закритичну поведінку розшаруватої частини.

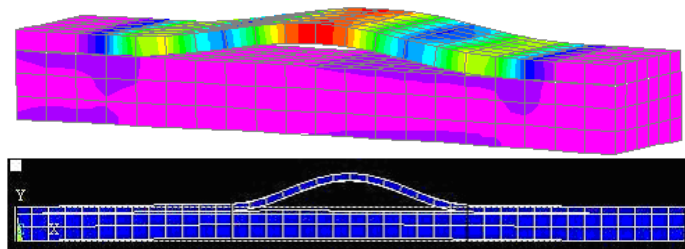


Рис.1 Локальна форма випинання

Локальне випинання - вид втрати стійкості – лише розшарування верхньої частини, коли нижня і основна частини пластини залишаються плоскими. Локальна втрата стійкості є основним видом руйнування при стискуванні шаруватих композиційних матеріалів з дефектами типу тонких розшарувань.

На прикладі одномірної моделі тонкого наскрізного розшарування прямокутної форми, що має місце в пластині, досліджено поведінку дефекту з урахуванням геометричної нелінійності. Отримано явні аналітичні вирази для величин, що характеризують поведінку розшарованої частини.

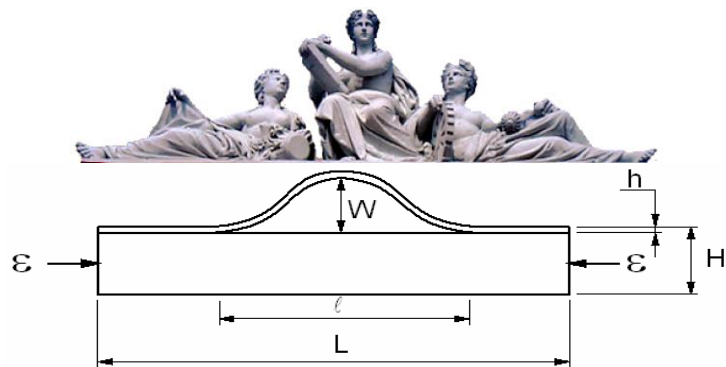


Рис.2 Розрахункова схема пластини з дефектом типу розшарування.

Елемент конструкції являє собою пластину (рис.2) довжиною L , висотою H і одиничної ширини. Є єдине розшарування довжиною l розташоване на глибині h , жорстко затиснено по краях. Власна функція задається у вигляді характеризуючого кута нахилу дотичної до пружної лінії:

$$\vartheta_1(x) = \sin(2\pi x/l)$$

Розв'язок нелінійної задачі представлено виразом:

$$\vartheta(s) = \alpha \vartheta_1(s)$$

З умови стаціонарності повної потенціальної енергії $\frac{\partial \dot{Y}}{\partial \alpha} = 0$ отримана залежність між прогином в центрі розшарування α і зовнішнім навантаженням P .

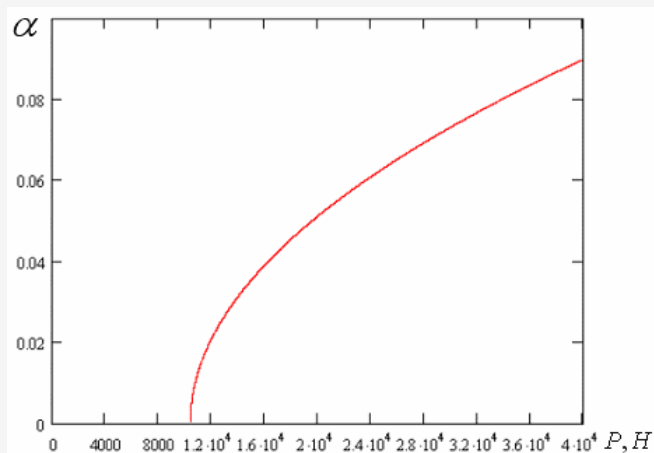


Рис.3 Аналітичний розрахунок закритичної поведінки дефекту типу розшарування

Висновок: Удосконалено одномірну модель розрахунку стійкості наскрізних дефектів прямокутної форми в пластині з урахуванням геометричної нелінійності.



ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛІ ІЗ СТАЛІ 45 ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ

**Чернета О.Г., к.т.н., доцент, Сасов О.О., к.т.н., доцент, Аверьянов В.С.,
к.т.н., доцент**

Дніпровський державний технічний університет

Відомо безліч технологічних способів зміцнення поверхневого шару деталей автомобілів у виробництві і машинобудуванні. Частина з них традиційні і використовуються доволі часто. Деякі з них доволі коштовні, небезпечні для навколишнього середовища і людини, мають посередні фізико-механічні характеристики і потребують подальшого використання. Інші пов'язані з використанням високо енергетичних технологій, гостродефіцитних матеріалів, застосування коштовного обладнання і висококваліфікованих кадрів. Іноді баланс між економічними витратами і фізико-механічними властивостями отриманих покриттів не відповідає масовому використанню тих, чи інших технологічних методів зміцнення робочої поверхні деталей виробів.

Одночасно в світовій практиці є великий попит на використання новітніх технологій зміцнення поверхневого шару деталей автомобілів, що в кінцевому рахунку призводить до суттєвого збільшення ресурсу роботи деталі, механізму в цілому, її надійність, зменшує в рази витрати на ремонти і простої обладнання. Сучасні технології підвищення зносостійкості за рахунок зміцнення поверхневого шару деталей енергоємні, високо витратні, потребують використання сучасного обладнання і кваліфікованих кадрів.

Застосування високо енергетичних приладів – лазерів, газо-плазмову обробку, обробку струмами високої частоти дає практично миттєвий результат по зміцненню локальних робочих поверхневих шарів деталей. В результаті високошвидкісного нагріву і охолодження в мікроструктурі загартованого поверхневого шару утворюються надтверді зносостійкі фази, карбіди, бориди, нітриди, карбобориди, карбонітиди основних металів, що входять до складу матеріалу з якого виготовлена деталь [1].

До сучасних перспективних технологій отримання зміцнених поверхонь відносять комбіновані технології (азотування з наступною лазерною обробкою, борування з наступною лазерною обробкою), що приводить до утворенню в поверхневих шарах деталей відповідних заданих мікроструктур з заданими фізико-механічними властивостями і в 2-3 рази підвищити зносостійкість поверхні контактуючої пари.

Для оцінки поверхневого шару деталей із сталі 45 необхідно урахувати наступні фактори: геометричні параметри розмірів, шорсткість поверхні деталі, мікроструктуру і твердість зношених поверхневих шарів. Сталь 45 відноситься до середньо вуглецевих якісних конструкційних сталей підвищеної міцності (С- 0,42-0,5; Мп- 0,5-0,8; Si-0,17-0,37; Р – 0,035; S -0,04; Cr -0,25; Ni -0,3; Cu -0,3.



Межа міцності і текучості відповідно після покращення складає $\sigma_s = 600 - 700 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 400 - 600 \text{ МПа}$; при зниженій пластичності $\delta = 23 - 14\%$; $\psi = 50 - 40\%$. Ударна в'язкість $KCU_{+20} = 40 - 50 \text{ Дж/см}^2$. Спостереження змінення фізико-механічних характеристик і дослідження мікроструктур відповідних зон проводили за допомогою електронного растрового мікроскопу РЕМ-106И.

В результаті неодноразового нагріву і охолодження вихідна структура металу із сталі 45 суттєво змінюється [2]. Наплавлений шар при відновленні деталі наплавленням має істотні відмінності за хімічним складом від вихідної структури. Так в структурі відновленої трансформованої поверхні в основному спостерігається перлітна структура з вкрапленнями карбідів (рис.1 а, б, в) [3]. Сам шар має збіднену вуглецеву структуру з частками карбідів розмір яких коливається в межах 0,5 мкм.(рис.1 г, д, е).

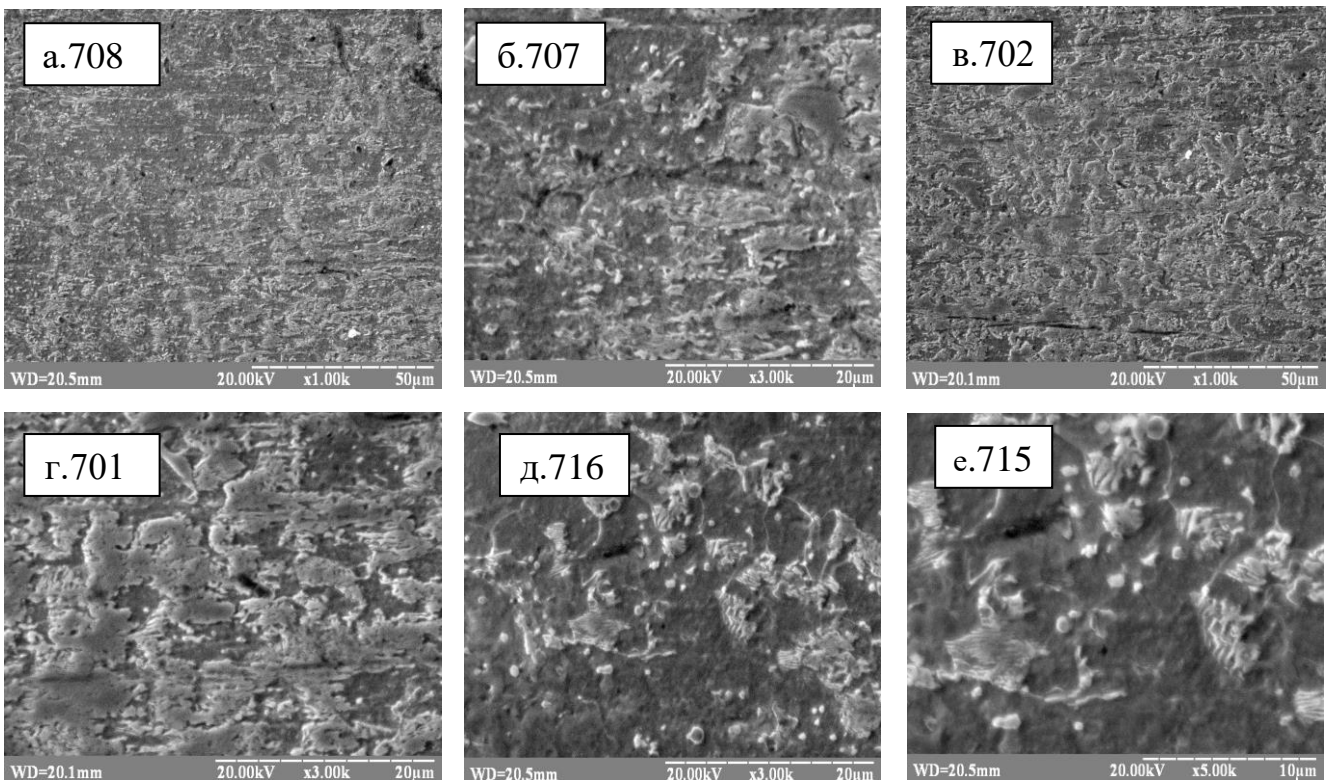


Рис. 1. Мікроструктура поверхні наплавленого шару із сталі 45 з боруванням

За результатами замірів твердості вихідної та відновленої поверхні, що проводили за методом Брінеля були побудовані наступні залежності (рис. 2). Розроблена технологія відновлення зношених поверхней деталей автомобілів із сталі 45 на основі електродугового наплавлення. Досліджені структури поверхневих зношених, відновлених і зміцнених шарів [4]. Побудовані графічні



залежності мікротвердості поверхневого шару при відновленні і зміцненні захисних покриттів.

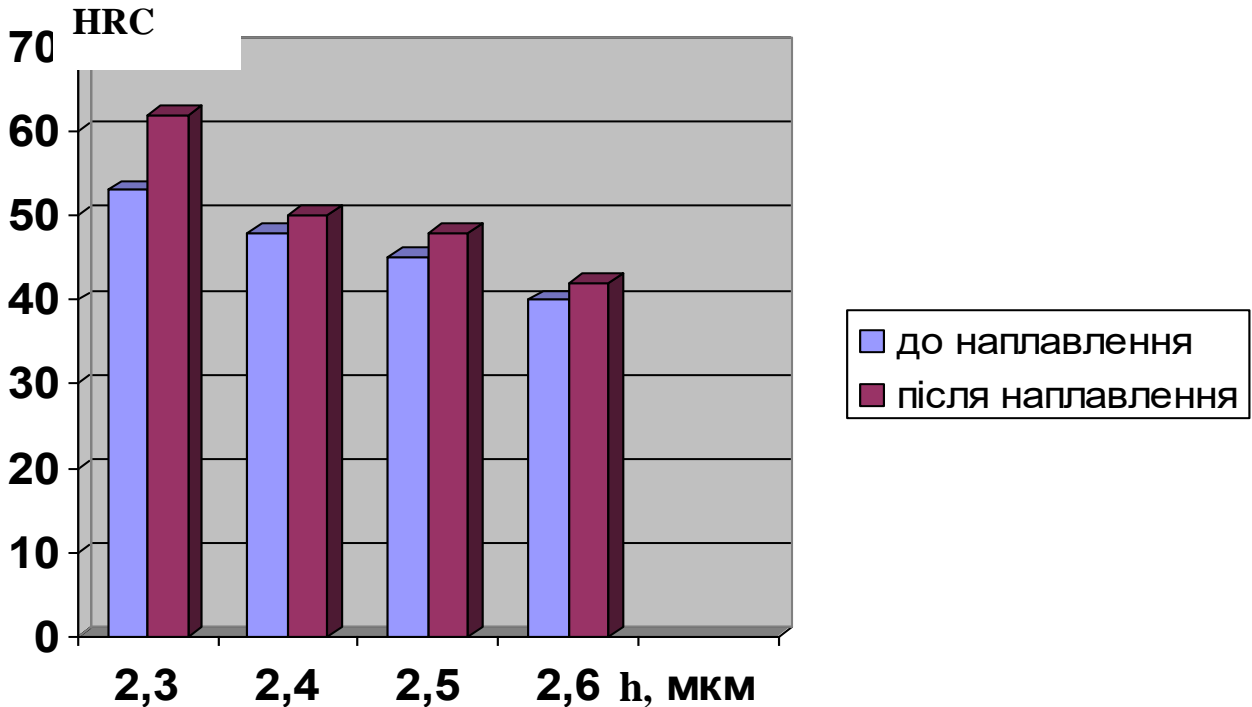


Рис. 2. Графік розподілу мікротвердості вихідного і наплавленого шару із сталі 45

Література:

1. Дифференцированные обработки сплавов для повышения их свойств – перспективное направление в материаловедении. Л.С. Малинов. /Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении.// Научный журнал 2'2012 Запоріжжя, ЗНТУ -51-56с.
2. Франценюк И.В., Франценюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. –М.:ИКЦ «Академкнига», 2004. -136с.
3. Чернета О.Г., Буря О.І., Набережна О.О., Волощук Р.Г. Технологія відновлення і зміцнення поверхневого шару деталей машин. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» Научный журнал - Чернігів, ЧНТУ, 2018 - Т1 – 100-102 с.
4. Чернета О.Г., Сухомлін В.І., Волощук Р.Г., Серета Б.П. Дослідження микроструктури зношених деталей автомобілів із сталі 45 при відновленні і багатократній термічній обробці. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – Випуск 10(1). – 212-217 с.



ДОСЛІДЖЕННЯ МІКОРІЗАННЯ В ПРОЦЕСІ ФІНІШНОЇ АНТИФРИКЦІЙНОЇ БЕЗАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

¹Шепеленко І.В., *к.т.н., доцент*, ²Цеханов Ю.О., *д.т.н., професор*,
¹Немировський Я.Б., *д.т.н., професор*, ³Посвятенко Е.К., *д.т.н., професор*,
¹Єрємін П.М., *к.т.н.*

¹Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна;

²Вороніжський державний технічний університет, Росія;

³Національний транспортний університет, Україна

Нанесення металевих покриттів фрикційно-механічним методом фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО) супроводжується мікорізанням антифрикційного матеріалу (наприклад, латуні, міді та бронзи) вершинами мікронерівностей матеріалу, що обробляється [1, 2]. При цьому антифрикційний матеріал буде заповнювати мікронерівності у вигляді мікростружки та значною мірою визначати формування і якість нанесення антифрикційного покриття. У зв'язку з цим, доцільним уявляються проведення спеціальних досліджень впливу форм і розмірів мікронерівностей на здійснення мікорізання в процесі ФАБО. Проведення подібних досліджень можливо шляхом моделювання контактної взаємодії антифрикційного матеріалу з вершинами мікронерівностей при ФАБО на етапі мікорізання.

Моделювання контактної взаємодії поверхонь проводилися на спеціальних зразках із сірого чавуну СЧ 20 і латуні Л63. При дослідженні процесу мікорізання застосовували метод теорії подібності та розмірностей, відповідно до якого були виготовлені чавунні різці, геометрія ріжучої частини яких моделювала окрему мікронерівність поверхні оброблюваної заготовки. Причому, передній кут цієї мікронерівності варіювався в межах $\gamma = +5^\circ \div -15^\circ$. В якості досліджуваного зразка, що взаємодіє з одиничною мікронерівністю, застосовувалася пластина з латуні Л63. Нанесення та дослідження покриття виконувалися з використанням розроблених авторами [3] методики і пристроїв на фрезерному верстаті.

У роботі розглянуто процес мікорізання як низькотемпературний процес глибоких пластичних деформацій з переважанням простого зсуву оброблюваного матеріалу в зоні стружкоутворення, що дозволило побудувати схему взаємодії мікронерівності з оброблюваною поверхнею при фрикційно-механічному методі ФАБО.

Моделювання процесу ФАБО показало, що ріжуче лезо чавунного мікорізця інтенсивно зношується в процесі взаємодії з латунною поверхнею, причому це відбувається вже на самому початку його роботи. Процес зміни геометрії вершини різця відбувається відповідно до принципу пристосовності всієї системи різець - деталь. Кількісне значення затуплення свідчить про вплив переднього кута γ на радіус затуплення r ріжучої кромки мікорізця з чавуну



СЧ20. Розрахунок відношення радіуса затуплення r до фактичної глибини різання t_f для різних кутів показав, що зі зменшенням переднього кута радіус затуплення r збільшується (рис.1).

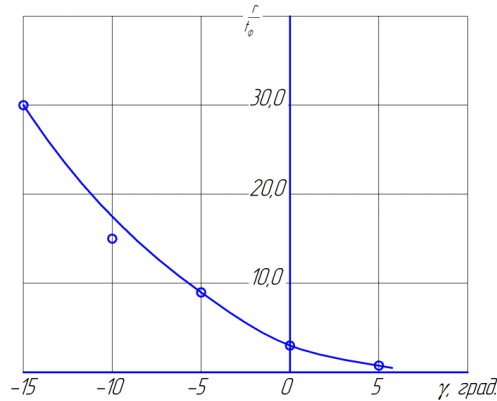


Рис.1. Залежність відношення радіуса затуплення різучої кромки різця r до фактичної глибини різання t_f від переднього кута різання при моделюванні різцем з чавуну СЧ 20 при обробці латуні Л63

Ефективність процесу мікрорізання на позитивних передніх кутах різання підтверджують дані моделювання стружкоутворення з використанням програмного комплексу DEFORM-3D (рис.2).

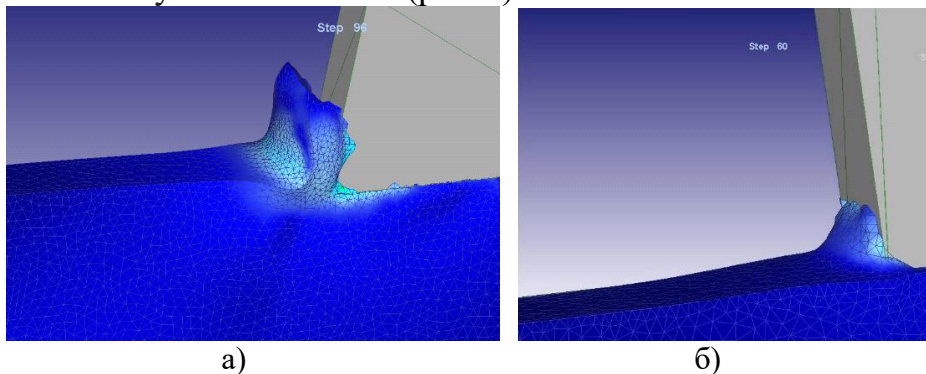


Рис.2. Моделювання стружкоутворення з використанням програмного комплексу DEFORM-3D при різних значеннях переднього кута різання : а - $+5^\circ$; б - -5°

Результати моделювання з використанням програмного комплексу DEFORM-3D свідчать про те, що при куті $= +5^\circ$ спостерігається найбільша товщина шару, що зрізається і вектор сходу стружки зберігає напрямок передньої поверхні з кутом $= +5^\circ$ (рис.2, а). При $= 0^\circ$ товщина зрізаного шару помітно зменшується, а вектор сходу стружки зберігає напрямок передньої поверхні з кутом $= 0^\circ$. Найменша товщина зрізаного шару спостерігається при куті $= -5^\circ$ (рис.2, б) і вектор сходу стружки зберігає напрямок передній поверхні з кутом $= -5^\circ$.

Слід зазначити, що моделювання стружкоутворення з використанням програмного комплексу DEFORM-3D дозволяє отримати тільки кількісну оцінку, яка не враховує механіку процесу. Отримання якісної картини з



урахуванням фізики процесу мікрорізання можливо тільки шляхом проведення експериментальних досліджень.

Встановлено (рис.3), що зі зменшенням кута об'єм мікростружки, що знімається, зменшується незалежно від номінальних товщин різання t_n , наближаючись до 0 при значенні $\gamma = -10^\circ \div -15^\circ$. Отже, для ефективного заповнення мікростружкою мікровпадін при ФАБО необхідно створити регулярний мікрорельєф з $\gamma = 5^\circ$.

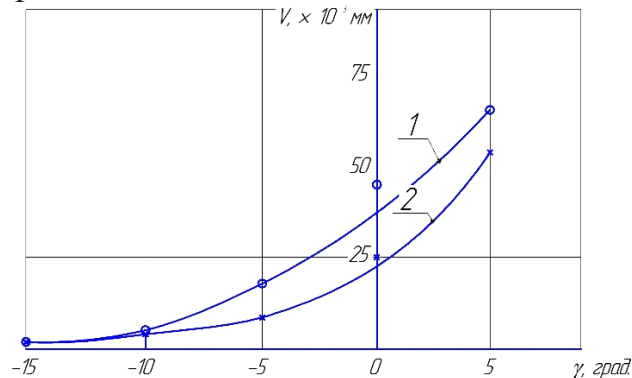


Рис.3. Залежність об'єму стружки, що знімається, з одиниці площі V від кута при моделюванні різання різцем з чавуну СЧ20 при обробці латуні ЛБ3: 1 - $t_n=0,6$ мм; 2 - $t_n=0,4$ мм

Таким чином, кут істотно впливає на глибину різання, радіус затуплення різальної крайки, а отже буде впливати на схему взаємодії контактуючих поверхонь при мікрорізання.

Отримані експериментальні дані та результати моделювання дозволили представити схеми контактної взаємодії інструменту з оброблюваною поверхнею для різних кутів при ФАБО на етапі мікрорізання, а також встановити основні закономірності їх параметрів. Аналіз характерних схем мікрорізання при ФАБО фрикційно-механічним методом дозволив рекомендувати параметри вихідного мікрорельєфу поверхні, тим самим створити сприятливі умови для мікрорізання антифрикційного матеріалу та підвищити якість утворення антифрикційного покриття.

Література:

1. Погоньшев В.А. Теоретические и экспериментальные основы повышения износостойкости деталей машин / В.А. Погоньшев, М.В. Панов // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования*. - 2011. - №4. - С. 78-84.
2. Shepelenko I.V. The mechanism of formation of anti-friction coatings by employing friction-mechanical method / I.V. Shepelenko, E.K. Posviatenko, V.V. Cherkun // *Журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)"*, Хмельницький. - 2019. – №1. - С.35-39.
3. Shepelenko I., Nemyrovskiy Y., Tsekhanov Y., Posviatenko E. Modeling of contact interaction of micro roughness at FANP. In: *1-th International scientific and technical conference «Prospects for the development of mechanical engineering and transport-2019»*, 2019, pp. 218–219.



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ТА РОБОТИ СКЛАДСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПІДПРИЄМСТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ДАНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Юрчишин І.І., к.т.н., доцент, Василенко Н.В., студентка, Литвиняк Я.М., к.т.н., доцент

Національний університет «Львівська політехніка»

Працеемність і вартість технологічної підготовки виробництва зростають з року в рік. Слід враховувати, що при виробництві кожного виробу використовуються десятки і сотні одиниць засобів технологічного оснащення (ЗТО) –різноманітних пристроїв, різальних, допоміжних і вимірювальних інструментів. Досить згадати, що до 6% всього верстатного устаткування, яке використовується в машинобудуванні, завантажено виготовленням різальних інструментів, а витрати на виготовлення цих інструментів становлять в середньому 5-7% від повної собівартості продукції, що випускається. Відповідно, накладні витрати на проектування, виробництво і придбання ЗТО є доволі значними. Крім цього, залежно від інструментальних ресурсів, змінюється і технологія виготовлення виробу, тому ця інформація є критично необхідною при технологічній підготовці виробництва.

До одних з основних питань, які піднімаються при проведенні технологічної підготовки виробництва машинобудівного підприємства, належить інформація про наявні ЗТО, зокрема різальні інструменти, та виявлення необхідності у закупівлі чи виготовленні нових інструментів. Причому цікавить не лише наявність конкретних інструментів і місце їх розташування в інструментальних службах та на складах, але й більш детальні показники, зокрема:

- поточне напруження (залишковий ресурс) конкретного екземпляра інструменту;
- історія його застосування;
- організація зберігання, заточування і видача інструменту;
- складання норм витрат і оборотних фондів;
- організація технічного нагляду за експлуатацією, система відновлення використаних інструментів.

Подібна інформація особливо корисна і з точки зору оцінки ефективності використання вартісних інструментів, і для відстеження їх реального технічного стану, що безпосередньо впливає як якість продукції, яка випускається.

До процесів, пов'язаних з експлуатацією інструментів, мають безпосереднє відношення різні категорії спеціалістів підприємства – інженери-технологи, конструктори інструментів, робітники-верстатники й інструментальники, допоміжні робітники-налагоджувачі, працівники складського господарства,



служби закупівлі тощо. Для цих категорій інформація про інструменти на підприємстві завжди повинна бути актуальною, доступною і консолідованою, а ця сфера виробництва повинна бути так само автоматизована, як і всі інші.

Вирішення проблеми класифікації інструментів та побудови на її основі спеціалізованої інформаційно-пошукової системи стало метою багатьох підприємств як закордоном, так і на території України. Підходи до цього завдання мають радикальні відмінності залежно від специфіки роботи підприємства, його можливостей, планування та фінансових витрат.

На сьогоднішній день класифікація засобів технологічного оснащення більшості вітчизняних підприємств досі ґрунтується на Нормалях МН74-59 – МН81-59 «Инструмент и приспособления для машиностроения. Классификация и условные обозначения», які були розроблені понад 60 років тому і, зрозуміло, не можуть забезпечити вирішення сучасних проблем технологічної підготовки виробництва. Крім цього, стандарти ЄСТПВ кардинально відрізняються від чинних стандартів, прийнятих у Європейському Союзі, США та провідних країнах Азії, що створює певні проблеми у використанні підходів та функціоналу як власне класифікаторів, так і баз даних, побудованих на їх основі.

Зарубіжним аналогом сучасної класифікації металорізальних інструментів є опублікований в 2006 році стандарт ISO 13399, який фактично є механізмом опису і використання даних по різальних інструментах і дозволяє сумісну роботу зі спеціалізованим програмним забезпеченням відомих виробників інструментів таких як АВ Sandvik Coromant (Швеція), Mitsubishi Carbide (Японія), Kennametal (США) тощо.

Системи класу CAPP (Computer Aided Process Planning – Системи автоматизованого проектування технологічних процесів) володіють значним потенціалом у процесах технологічної підготовки виробництва, спільністю стандартів ЄСТПВ та хорошим наповненням технологічних вбудованих баз даних. До найбільш відомих таких систем відносяться ВЕРТИКАЛЬ, TechCard, TechnologiCS, T-Flex, СПРУТ-ТП, ADEM, Timeline Free Work, SWR-Технологія. Проте, ці системи не набули широкого поширення на машинобудівних підприємствах України у зв'язку з високою вартістю володіння, в окремих випадках – закритістю своїх баз даних від редагування та адаптації, а також фактом походження з країни-агресора.

За результатами проведеного дослідження пропонується варіант класифікації за дев'ятьма класифікаційними ступенями, яка може охопити практично всі засоби технологічного оснащення, які використовуються на вітчизняних підприємствах, та дає змогу побудувати відповідну базу даних на реляційній архітектурі: 1) за видом (призначенням) ЗТО – Інструменти й пристрої для заготівельного виробництва; Інструменти різальні для оброблення металів тощо); 2) за видом оброблення – Різці, Фрези, Інструменти осьові мірні тощо; 3) за типом роботи (на прикладі токарних різців) – Прохідні,



Розточувальні, Ротаційні (для верстатів з ЧПК) тощо; 4) за якістю оброблення (на прикладі токарних різців) – Чорнові, Чистові, Для алмазного точіння тощо; 5) за загальною конструкцією (на прикладі токарних різців) – Прямі, Відігнуті ліві тощо; 6) за конструкцією різальної частини – Суцільні, З механічним кріпленням пластин тощо; 7) за типом матеріалу різальної частини – Швидкорізальні, Мінералокерамічні, З надтвердих синтетичних матеріалів тощо; 8) за характером набуття підприємством – Стандартні куповані, Унікальні власного виробництва, Отримані від суміжників тощо; 9) за унікальним ідентифікатором – геометричні параметри інструменту (включно з геометрією різальної частини), залишкова стійкість, місце знаходження у підрозділі інструментального господарства (наприклад, комора – стелаж – ящик), при потребі – деякі інші характеристики.

За вказаними даними формується унікальний буквено-цифровий ідентифікатор (код) для однозначної ідентифікації кожного екземпляра інструменту (групи інструментів). Кожний елемент коду розшифровується як ступінь класифікації.

На основі класифікатора та з використанням системи керування базами даних (СКБД) Microsoft Access створено спеціалізовану Інформаційно-пошукову систему. Вибір саме цієї СКБД обумовлений її широким розповсюдженням, простотою в експлуатації та адаптації, а також мінімальною вартістю володіння. Результат роботи створеної бази даних після оформлення інтерфейсних процедур (екземпляр ЗТО «Різець розточувальний прямий з напайною пластиною ВК6 унікальний власного виробництва Рm12322ТУв – GR234432»):

Різновид	<input type="text" value="УВ"/>	Рисунок	
Марка матеріалу	<input type="text" value="ВК6"/>		
Вид	<input type="text" value="круглий"/>		
Довжина, мм	<input type="text" value="120"/>		
Ширина/діаметр, мм	<input type="text" value="22"/>		
Висота, мм	<input type="text"/>		
Мінімальний діаметр оброблюваного отвору, мм	<input type="text" value="30"/>		
Кут в плані фі, град	<input type="text" value="75"/>		
Допоміжний кут в плані фі1, град	<input type="text" value="15"/>		
Передній кут, град	<input type="text" value="-3"/>		
h	<input type="text" value="15"/>		
f	<input type="text" value="13"/>		
Кількість перезагострень номінальна	<input type="text" value="6"/>	Екземпляр	
Кількість перезагострень залишкова	<input type="text" value="1"/>		
Стойкість номінальна, хв	<input type="text" value="30"/>		
Стойкість залишкова, хв	<input type="text" value="21"/>		





