

Міністерство освіти і науки України
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Державний університет «Житомирська Політехніка»
Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля НАН України
Механіко-машинобудівний інститут
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Грузинський технічний університет

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю

ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ВЕРСТАТИ ТА ІНСТРУМЕНТ

м. Житомир, 5–6 листопада 2021 р.

Друкується за рішенням Вченої ради
Державного університету «Житомирська політехніка»
(протокол № 6 від 25.10.2021 р.)

Житомир
Державний університет «Житомирська політехніка»
2021

Збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 5–6 листопада 2021 року. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – 191 с.

Відображено сучасний стан і напрямки розвитку технологій та обладнання процесів механічної обробки матеріалів; виготовлення, зміцнення та відновлення деталей машин; автоматизації виробництва. Наведено результати досліджень, що пов'язані із вирішенням актуальних проблем машинобудування; створення нових конструкцій верстатів та їх елементів, інструментів; підвищення ефективності технологічних процесів.

В авторській редакції

ISBN 978-966-683-577-5

Комп'ютерна верстка: Отаманський В.В.

УДК 621(082)

*Міністерство освіти і науки України
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Державний університет «Житомирська Політехніка»
Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля НАН України
Механіко-машинобудівний інститут
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Грузинський технічний університет*

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

ОЛІЙНИК Оксана, перший проректор
Державного університету «Житомирська політехніка».

Співголови:

КЛИМЕНКО Сергій, Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля
НАН України (м. Київ).

ПАСІЧНИК Віталій, Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

МЕЛЬНИЧУК Петро, Державний університет «Житомирська
політехніка».

Відповідальний секретар:

БАЛИЦЬКА Наталія, Державний університет «Житомирська політехніка».

Секретар:

ОТАМАНСЬКИЙ Валентин, Державний університет «Житомирська
політехніка».

Члени організаційного комітету:

АНТОНЮК Віктор – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

д.т.н., професор;

БОЙКО Ігор – АТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя), к.т.н.;

ВЕРХОВЛЮК Анатолій – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (м. Київ), д.т.н., професор;

ВИГОВСЬКИЙ Георгій – Державний університет «Житомирська політехніка», к.т.н., доцент;

ГЛАДСЬКИЙ Максим – ТОВ «Прогрестех-Україна» (м. Київ);

ГРОМОВИЙ Олексій – Державний університет «Житомирська політехніка», к.т.н., доцент;

ДІМІТРОВ Любомір – Технічний університет – Софія (м. Софія – республіка Болгарія), д.т.н., професор;

ЗАЛОГА Вільям – Сумський державний університет, д.т.н., професор;

КИРИЛОВИЧ Валерій – Державний університет «Житомирська політехніка», д.т.н., професор;

КОВАЛЬОВ Віктор – Донбаська державна машинобудівна академія, д.т.н., професор;

КОЗЛОВ Леонід – Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор;

ЛУЦІВ Ігор – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, д.т.н., професор;

МАРЧУК Віктор – Луцький національний технічний університет, д.т.н., професор;

МЕЛЬНИК Олександр – завідувач кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка», к.т.н., доцент;

ПАНЧУК Віталій – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, д.т.н., професор;

ПЕТРАКОВ Юрій – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

д.т.н., професор;

ПОЛОНСЬКИЙ Леонід – Державний університет «Житомирська політехніка», д.т.н., професор;

ТАНОВІЧ Любодрог – Белградський університет (м. Белград – Сербія), д.т.н., професор;

ТОНКОНОГІЙ Володимир – Державний університет «Одеська політехніка», д.т.н., професор;

ТУРМАНІДЗЕ Рауль – Грузинський технічний університет (м. Тбілісі – Грузія), д.т.н., професор;

ФЕДОРОВИЧ Володимир – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», д.т.н., професор;

ШЕВЧЕНКО Олександр – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

д.т.н., професор.

ЗМІСТ

1.	Деякі напрямки вдосконалення процесу механічної обробки.	8
	Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.	
2.	Можливості адитивних технологій у виготовленні високотехнологічної продукції машинобудування та біомедичної інженерії.	11
	Бурбурська С.В., Пасічник В.А.	
3.	Высшее образование в республике Сербия в аспекте европейского пространства высшего образования.	13
	Танович Л.	
4.	Домішки та включення в алмазних зернах, як фактор, який необхідно враховувати при застосуванні алмазних шліфпорошків в алмазному інструменті.	18
	Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Смоквина В.В., Солод В.Ю.	
5.	Влияние ионно-плазменного термоциклического азотирования сплава ЭК61 на его характеристики усталости.	22
	Майборода В.С. Налимов Ю.С., Рутковский А.В.	
6.	Застосування методу хемографії для вивчення явищ пошкодження поверхонь.	24
	Саленко О.Ф., Перківський С.А.	
7.	Розширення технологічних можливостей металорізальних верстатів шляхом модернізації.	28
	Карнаух В.Л., Бойко І.А., Деменко Д.В.	
8.	Вплив обробки за принципом аусформінгу на фазово-структурні перетворення у кобальті.	31
	Бовда В.О., Бовда О.М., Васіленко Р.Л., Колодій І.В., Кондратов О.О., Онищенко Л.В., Танцюра І.Г., Токар І.М.	
9.	Зміст та особливості розрахунку серединних параметрів при нечіткому багатокритеріальному виборі альтернатив: серединний випадок.	34
	Кирилович В.А., Шубенко Р.В., Білоцький О.Д.	
10.	Особливості нечіткого багатокритеріального вибору роботизованих механоскладальних технологій з використанням методу GRA.	36
	Кирилович В.А., Шубенко Р.В., Білоцький О.Д.	
11.	Стан машинобудівної галузі України.	38
	Райковська Г.О.	
12.	Підвищення стабільності збірних різців.	40
	Клименко Г.П., Васильченко Я.В.	
13.	Прогнози на майбутнє після четвертої промислової революції «Індустрія 4.0».	42
	Кузнєцов Ю.М.	

14. **Науковий підхід введення металорізальних верстатів з ЧПУ в експлуатацію.** 45
Пермяков О.А., Скидан Н.П., Стрелець Н.П., Федоренко В.С.
15. **Шліфування зубчастих коліс вугледобувних комбайнів.** 46
Рябченко С.В., Дергоусов В.М., Нежебовський В.В.
16. **Модифікований спрощений алгоритм методу групового врахування аргументів в імітаційному моделюванні процесами.** 48
Равська Н.С., Корбут Є.В., Івановський О.А., Родин Р.П., Парненко В.С., Заковоротний О.Ю., Клочко О.О., Сапон С.П., Rolahd Loroeh.
17. **Прогнозування структури і параметрів систем зубообробки крупномодульних зубчастих коліс.** 51
Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Охріменко О.А., Воронцов Б.С., Гасаново М.І., Клочко О.О.
18. **Современные технологии повышения долговечности цилиндрических зубчатых колес.** 53
Шаповалов М.В., Антоненк Я.С., Сиволап М.С.
19. **Предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес.** 56
Анцыферова О.А., Старченко Е.П., Максименко М.С., Федоров Е.В.
20. **Исследование локального поля резания червячной фрезы с раздельной схемой формообразования.** 59
Мироненко Е.В., Клименко Г.П., Манохин А.С., Охрименко О.А., Камчатная-Степанова Е.В.
21. **Комплексний процес поліпшення оброблюваності аустенітних сталей.** 62
Аксьом П.А., Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І.
22. **Підвищення працездатності валів металообробних верстатів.** 66
Бережна О.В., Шаповалов М.В., Недвіга О.А.
23. **Дослідження властивостей базових вузлів станин верстатів.** 68
Васильченко Я.В., Гавриш П.А., Малигін М.О.
24. **Дослідження температурного режиму системи застосування мор при шліфуванні.** 70
Степанов М.С., Іванова Л.П., Літовченк П.І.
25. **Сили опору мігнітно-абразивного інструменту при магнітно-абразивному обробленні циліндричних виробів в кільцевій ванні.** 73
Джулій Д.Ю., Заставський К.О., Майборода В.С., Слободянюк І.В.
26. **Сучасні підходи до розробки і модернізації металорізального обладнання.** 76
Фролов М.В., Бойко І.А., Деменко Д.В.

27.	Проектування і ефективне використання інструментального оснащення з пружними елементами при токарній обробці. Шевченко О.В., Манзюк С.А.	78
28.	Підвищення продуктивності плоского шліфування за рахунок управління процесом застосування МОР. Мельник О.Л., Січкачук Є.Л., Степчин Я.А.	81
29.	Характер розподілу магнітного поля при обробці магнітних циліндричних виробів у кільцевій ванні. Буріков О.О., Майборода В.С.	85
30.	Керування процесом формоутворення поверхонь лопаток компресорів ГТД при високошвидкісній обробці. Лазарєва О.О., Сахнюк Н.В.	88
31.	Експериментальні дослідження ефективності інструментів оснащених новими типами композитів з КНБ. Клименко С.А., Клименко С.Ан., Мельнічук Ю.О., Манохін А.С., Найдено А.Г.	90
32.	Продуктивність та якість обробки при кінцевому фрезеруванні багатозубим інструментом в умовах дії автоколивань. Дядя С.І., Козлова О.Б., Карамушка Д.Р.	92
33.	Про вплив умов мікро- та нанорізання на якість шліфованої поверхні в технологічному процесі виготовлення інтегральних мікросхем. Джугурян Т.Г., Божко Т.Є., Марчук В.І., Марчук І.В.	94
34.	State of the art of micro-cutting. Rjević M., Tanović L., Popović M.	96
35.	Розробка шліфувальних кругів з композиційними корпусами. Рябченко С.В., Сільченко Я.Л., Федоренко В.Т.	109
36.	Використання САПР FUSION 360 для проектування та виготовлення швидкозношуваних деталей сільськогосподарської техніки. Бойко Ю.І., Слабій Д.Ю., Яновський В.А., Коваль Ю.О.	110
37.	Досвід використання 3D друку в умовах діючого підприємства. Заїка О.М., Рудь В.Д.	114
38.	Методи підвищення точності в умовах автоматизованого виробництва. Молчанов В.Ф.	117
39.	Деякі проблемні аспекти моделювання процесів механічної обробки. Балицька Н.О., Юрчук Т.С.	120
40.	Технологічне забезпечення якості та ефективності шліфування поверхонь обертання кілець роликотішлипників в умовах серійного виробництва. Марчук В.І., Марчук І.В., Гринюк С.В., Лук'яничук Ю.А.,	122

- Божко Т.Є.
41. **Технологічний комплекс швидкого прототипування виробів з підвищеною зносостійкістю для машинобудування.** 125
Анісімов В.М., Анісімов В.В.
 42. **Підвищення продуктивності при відрізання алюмінієвих профілів.** 127
Майданюк С.В.
 43. **Гідроабразивне точіння циліндричних деталей з важкооброблюваних матеріалів.** 129
Бурикін В.В., Клименко С.А.
 44. **Аналіз методів вдосконалення властивостей проникних матеріалів.** 132
Рудь В.Д., Христинець Н.А.
 45. **Умови складаємості вісе-симетричних деталей в процесі автоматизованого складання.** 134
Юрковець В.І., Вислоух С.П.
 46. **Особливості побудови алгоритмів метода групового врахування аргументів.** 137
Клочко О.О., Корбут Є.В., Равська Н.С., Родін Р.П., Парненко В.С.
 47. **Віртуальне базування заготовок складної форми на верстатах з ЧПК.** 140
Фролов В.К., Яновський В.А., Коцюба Б.Г.
 48. **Силові характеристики термобаричних явищ, трибологічні властивості та механізми зношування інструментів з ПКНБ групи BL при обробці загартованих сталей.** 144
Коваленко Я.П., Мельничук П.П.
 49. **Вплив похибок системи затиску на точність оброблених поверхонь при паралельній токарній обробці.** 146
Буховець В.М., Волошин В.Н., Луців І.В.
 50. **Метод вибору раціонального проектного рішення залежно від значень геометричних параметрів посадки з натягом при їх автоматизованому проектуванні.** 148
Нечипоренко В.М., Сало В.А.
 51. **Підвищення зносостійкості поверхонь валів.** 151
Абрамов С.О., Синицин Я.С.
 52. **Перспективи використання різального інструменту з дискретним покриттям глобулярного типу для обробки деталей з волокнистих полімерних композиційних матеріалів.** 154
Корбут Є.В.
 53. **Інструментальне оснащення лезової обробки плоских поверхонь виробів з чавунів.** 158
Радкевич С.І., Глембоцька Л.Є., Гаєвський І.О., Мельничук П.П.
 54. **Технологія пакетування металевої стружки.** 160
Музичка Д.Г., Чернишов О.В., Чернишов О.О.

55. **Пристрій для штампування імпульсними джерелами енергії.** 162
Третьяк В.В., Музичка Д.Г., Чернишов О.В.
56. **Підвищення стійкості інструментів на основі вюртцитного нітриду бору з алмазною складовою композиту.** 165
Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Федоран Ю.О., Кравчук А.В., Павличук Т.В., Антонюк В.С., Аврамчук К.І.
57. **Підвищення ефективності відновлення робочого профілю колісних пар.** 169
Сладковський О.В., Рубан В.М.
58. **Трибологические процессы при обработке поверхностным пластическим деформированием.** 172
Харламов Ю.О., Полонський Л.Г., Балицька Н.О.
59. **Підвищення експлуатаційної надійності прецизійних деталей електроклапанів спеціального призначення.** 174
Абрамов С.О., Анісімов В.М., Гришин В.С., Довганюк Г.М.
60. **Применение САЕ систем для анализа усталостной прочности механизмов циклического нагружения.** 177
Лещенко А.И.
61. **Формування якості поверхневих шарів деталей при відцентрово-планетарній обробці.** 181
Пікула М.В.
62. **Дослідження процесу проточування гвинтових робочих органів секційних гнучких гвинтових конвеєрів.** 183
Кобельник В.Р., Лещук Р.Я., Лещук М.Р.
63. **Розробка раціональної схеми діагностування верстата по параметрам поверхонь деталей оброблених торцевим фрезеруванням.** 186
Громовий О.А., Бондарчук В.М.
64. **Комп'ютерне моделювання процесу торцевого фрезерування в програмі DEFORM 3D.** 188
Балицька Н.О., Виговський Г.М., Плисак М.М., Отаманський В.В.
65. **Використання високочастотного плазмового метода при атмосферному тиску для отримання покриттів на різальних інструментах.** 190
Рудніцький В.А.

УДК 621. 91

С.А. Клименко, чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.,
М.Ю. Конейкіна, к.т.н., с.н.с.,

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

ДЕЯКІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Незважаючи на широке впровадження маловідходних методів виготовлення заготовок у найближчі роки обробка різанням буде одним з основних технологічних процесів у машинобудуванні та металообробці. Стан і рівень розвитку технології механічної обробки конструкційних матеріалів є одним із визначальних факторів технічного прогресу, а також і економічного розвитку будь-якої країни. Але у відповідності до сучасного виробництва вони потребують постійного вдосконалення.

Основні тенденції вдосконалення процесів механічної обробки полягають у намаганні досягти максимального результату за мінімальних витрат. У технологіях фінішної обробки деталей максимальний результат пов'язаний не лише з продуктивністю знімання матеріалу припуску, а й з необхідністю формування у поверхневих шарах виробу такого стану, який би якнайкраще відповідав вимогам експлуатації виробу [1, 2].

Досягти цього максимального результату можна такими шляхами: – збільшенням зони взаємодії інструменту з виробом; – підвищенням інтенсивності взаємодії інструменту з виробом; – забезпеченням узгодженості дії параметрів технологічної системи «верстат-деталь-інструмент»; – максимальним використанням ресурсів системи. Ці шляхи реалізуються в таких технологіях фінішної обробки: – обробка з високою швидкістю різання, що сприяє мінімізації технологічної собівартості обробки та отриманню виробів високої якості; – обробка без застосування МОТС, що знижує екологічне навантаження і зменшує витрати на виробництво; – обробка в зміцненому стані – «тверде» точіння, під яким розуміють обробку інструментом з надтвердих композитних матеріалів твердістю понад 47 HRC із забезпеченням якості на рівні шліфування; – застосування в різальних інструментах змінних різальних пластин і захисних покриттів.

У зв'язку з вищенаведеним актуальними завданнями сучасної технологічної науки, вирішення яких обумовлює відповідність створюваних технологій світовим тенденціям, є розвиток фундаментальних і прикладних досліджень в області механічної обробки матеріалів, механіки і процесів управління щодо встановлення механічних, фізико-хімічних та інших закономірностей з метою їх використання у виробничих процесах.

Для цього, насамперед, потрібно розвивати уявлення щодо закономірностей процесу різання.

Вважається необхідним створення загальної теорії різання, яка охоплює питання обробки крихких, пластичних, структурованих і гетерогенних

матеріалів із загальних позицій, незалежно від масштабу розгляду побудови, структури, властивостей матеріалів виробу та інструменту, явищ в зоні різання. У цьому зв'язку, перспективним є створення фрактальної теорії різання, заснованої на уявленнях про структури оброблюваного та інструментального матеріалів, показники процесу різання і параметри стану поверхневого шару виробів, що формується у процесі обробки, як про статистичні мультифрактали. Параметри фрактальної параметризації структури і властивостей оброблюваних матеріалів пов'язані як з вихідними показниками процесу обробки – продуктивністю процесу і працездатністю інструменту, – так і з характеристиками стану поверхневого шару виробів після обробки та можуть бути використані як показники оброблюваності матеріалів різанням [3].

Перспективним є створення на основі результатів досліджень особливостей обробки різноманітних конструкційних матеріалів інструментами, оснащеними композитами на основі сталей, керамік, керметів, твердих сплавів, надтвердих матеріалів, комп'ютеризованих баз даних, які б дозволили оперативно мати інформацію щодо оптимальних умов обробки відповідно до конкретних пар «інструментальний-оброблюваний» матеріали, відповідно до необхідної технологічної операції.

Не менш важливим є створення комп'ютеризованої системи вибору робочого матеріалу інструменту для обробки різанням з урахуванням структурного стану матеріалу виробу. Уявляються два шляхи реалізації таких систем: – перший передбачає створення баз даних, які включають результати практичних робіт з оцінки працездатності різальних інструментів при обробці різних конструкційних матеріалів з врахуванням кінематики процесу різання, режимів різання, властивостей оточуючого середовища, інструментального і оброблюваного матеріалів, інших умов процесу різання; – другий базується на аналізі умов навантаження в зоні різання, співвідношеннях показників структурного стану, об'ємних і поверхневих механічних, а також хімічних властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів.

Актуальне завдання розширення гами композитів і покриттів для оснащення інструментів, у тому числі здатних адаптуватися до умов навантаження в зоні різання і таких, що мають функціонально-орієнтовані властивості, які відповідають експлуатаційному навантаженню на інструмент. Останнім часом активно розвиваються роботи зі створення інструментів, в яких використовують матеріали із спеціальними властивостями, що обумовлюють можливість адаптації їх показників до термобаричного навантаження в зоні різання, що забезпечує зниження температури та формування особливого триботехнічного стану на контактних ділянках. Наприклад, для мінімізації зношування різальних інструментів за рахунок зниження інтенсивності адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом і окислювальних процесів запропоновані самоадаптивні покриття [4]. Вони не протидіють окисленню, а здатні використати це явище для керування параметрами контактної взаємодії при різанні та зниженню інтенсивності тертя і, відповідно, термобаричного навантаження у зоні контакту. Подібні покриття в процесі різання окислюються, створюючи поліоксидну вторинну структуру (трибоплівку), яка виконує роль твердого змащення.

Особливий інтерес щодо поліпшення ефективності обробки в машинобудуванні викликають композити на основі алмазу та кубічного нітриду бору. Розширення номенклатури виробництва інструментів з надтвердих матеріалів, у тому числі багатолезових з композитів на основі кубічного нітриду бору груп ВН, ВL, ВС, різців з великих монокристалів алмазу, правлячих інструментів з робочими елементами з CVD-алмазу дозволить суттєво поширити область ефективної обробки виробів з важкооброблюваних матеріалів. Вони відкривають можливості для використання в машинах найсучасніших конструкційних матеріалів з поліпшеними механічними властивостями, потребують створення принципово нових верстатів зі значно вищою продуктивністю і точністю [5].

Найважливішим резервом підвищення ефективності механічної обробки є конструкція інструменту. Вона, насамперед, має враховувати особливості контактної взаємодії в зоні обробки, мінімізуючи негативні явища, що дозволяє суттєво підвищити стійкість інструменту і продуктивність обробки при забезпеченні необхідного стану поверхневого шару виробів.

Створення «інтелектуальних» інструментів, здатних до самодіагностики поточного стану з використанням предиктивної аналітики відповідає реалізації положень концепції «Індустрія-4.0». У таких системах параметри обробки уточнюються в реальному часі, враховуючи результати виконання попереднього технологічного етапу. Алгоритм системи оперативно адаптується до існуючих умов, гнучко змінюються її режими.

Для технічного використання такого потенціалу необхідно додати до їх схем можливості самокалібрування інструментів, малоінерційної зміни швидкості різання, подачі, повного контролю оперативного стану системи "верстат-інструмент-деталь" у будь-який момент робочого циклу.

Перспективною є розробка 2D чи 3D адитивних технологій формоутворення інструментів. З використанням цих підходів можливо виготовляти як складнопрофільні корпуси так й робочі елементи інструментів, що дозволяє підвищити ефективність або спростити кінематику верстатів.

Важливим елементом, сприяючим розвитку технологій механічної обробки, є вдосконалення підходів комп'ютерного моделювання процесу обробки з використанням можливостей віртуальної і доповненої реальностей. Отримання результату на підставі віртуально збільшуваної реальності надає можливість уявляти, як процес різання послідовно реалізується на послідовних стадіях розвитку. При цьому можна віртуально втручатися у процес на кожній стадії щоб зробити його більш ефективним. Контроль алгоритму адаптується до умов різання, які можуть реально змінюватися через зміну кінематики та зношування інструменту, випадкові явища у динаміці процесу тощо.

Практичне використання наведеного вище, поряд із вже традиційними напрямками вдосконалення процесу обробки різанням – підвищенням швидкості різання, створенням захисних покриттів, мінімізацією використання МОТС та ін., є сучасним підґрунтям забезпечення та підвищення ефективності механічної обробки та промислового виробництва у цілому.

Література:

1. Клименко, С.А. Науково-технічні проблеми механічної обробки інструментами з надтвердих матеріалів: стан і перспективи / С.А. Клименко // Вісник Національної академії наук України. – 2018. – № 9. – С. 45–52.
2. Klymenko, S. Improvement of technologies for edge cutting machining with tools equipped with superhard structured composites / S. Klymenko, M. Kopeikina // Modern manufacturing process and systems : collective monograph. – Moscow-Belgrade-Vrnjačka Banja : SaTCIP Publisher Ltd., 2020. – Vol.1 : Fundamentals. – Ч. 7. – Р. 169–189.
3. Клименко, С.А. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту / С.А. Клименко, Ю.О. Мельничук, Г.В. Встовський. – К. : ІНМ ім. В. М. Бакуля, 2009. – 170 с.
4. Клименко, С.А. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина и др. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.
5. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.

УДК 621.7

С.В. Бурбурська, асп.,
В.А. Пасічник, д.т.н., проф.,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

МОЖЛИВОСТІ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИГОТОВЛЕННІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Технологічні процеси виготовлення деталей, які змінюють їх форму на макрорівні можуть бути розділені на класи [1]: **дистрибутивні** – такі, результатом яких є зміна початкової форми заготовки у нову форму заготовки або готової деталі шляхом перерозподілу (дистрибуції) матеріалу; **субтрактивні** – такі, результатом яких є зміна початкової форми заготовки у нову шляхом видалення (субтракції) частини матеріалу з окремих поверхонь деталі; **адитивні** – такі, результатом яких є утворення форми готової деталі або високоточної заготовки шляхом пошарового додавання матеріалу або композиції матеріалів. Зазначимо, що процеси, які не змінюють форму на макрорівні, наприклад, оздоблювально-зміцнююче оброблення, нанесення захисних функціональних покриттів тощо, не підпадають під цю класифікацію.

Субтрактивні процеси є основою сучасного машинобудування, – це всі технології механічного оброблення, лазерного, плазмового, гідроабразивного різання, технології абразивного оброблення, коли на кожній технологічній операції видаляється припуск і тим самим форма поверхні та параметри її якості наближаються до визначених конструктором.

Дистрибутивні процеси, здебільшого спрямовані на отримання заготовок. До таких процесів відносяться процеси лиття, кування, штампування, гнуття тощо. Точність та якість форми, отриманої таким способом у переважній більшості випадків не задовольняє вимогам, визначеним конструктором, а отже, потребують наступного оброблення одним із субтрактивних процесів.

Адитивні процеси і технології наразі є мало поширеними, проте їх можливості й вплив на всю структуру системи технологій, задіяних у виготовленні продукції наразі недооцінені. Виробництво, в основі якого лежать адитивні технології як основний процес формоутворення, називають адитивним виробництвом (англ. – Additive Manufacturing) [2]. Міжнародний стандарт ASTM F2792.1549323–1 визначає: “Адитивні технології — це процес з’єднання матеріалів для створення об’єктів заданими тривимірних цифрових моделей, зазвичай шар над шаром, на відміну від субтрактивних технологічних процесів”. Тут мова йде не про протиставлення адитивних і субтрактивних технологій, а про підкреслення принципової відмінності цих технологій і про те, що адитивні технології органічно розширюють не задіяний до останнього часу сектор виробничих технологій. Цей саме стандарт виділяє 7 основних типів адитивних технологій, а саме: 1. Material Extrusion – витискування матеріалу; 2. Material Jetting – розбризкування основного матеріалу; 3. Binder Jetting – розбризкування зв’язуючого матеріалу; 4. Sheet Lamination – з’єднання листових матеріалів; 5. Vat Photopolymerization – фотополімеризація у ванні; 6. Powder Bed Fusion – розплавлення матеріалу в наперед сформованому шарі; 7. Directed Energy Deposition – безпосереднє підведення енергії у місце побудови. Зазначимо, що всі ці без винятку технології суттєво розширюють можливості сучасного виробництва високотехнологічної продукції, а в деяких випадках ці можливості є революційними, адже інші технології не дозволяють взагалі реалізувати складні за формою вироби. Сьогодні вже можна стверджувати, що адитивні технології забезпечують широкий спектр доступний матеріалів з добре прогнозованими фізико-механічними властивостями, забезпечують безпрецедентні можливості щодо формоутворення, є достатньо ефективними з економічної точки зору.

“Парадокс адитивних технологій [1]” полягає в тому, що чим складнішою є форма деталі, тим швидше її виготовлення буде ефективним. Тому місце і роль адитивних технологій в системі виробничих технологій – це проектування деталей і виробів екстремально складної форми, що забезпечує функції деталей і виробів за мінімальної кількості матеріалу. До таких виробів відносяться складні високотехнологічні продукція машинобудування, зокрема [3] та вироби біомедицинської інженерії [4]. І якщо в першому випадку мова йде про революцію у проектуванні складних форм та економічні переваги, то в другому, – про

створення принципово нових можливостей якості життя людини, недосяжних до цього.

Література:

1. В.А. Пасічник. Стан і перспективи адитивного виробництва // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сб. Харьков, НТУ «ХПИ». – 2018, Вып. 89 (101). – С. 134–140 (http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/rez_89_2018.pdf)
2. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2nd ed. / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Springer, 2015. 510 p. (DOI 10.1007/978-1-4939-2113-3).
3. Badiru A. Additive Manufacturing Handbook. Product Development for the Defense Industry. Ed. Adedeji B. Badiru, Vhance V. Valencia, David Liu. CRC Press, 2017. 931 p.
4. V.Pasichnyk, M. Kryvenko, S. Burburska, O. Haluzynskyi. Design and Engineering Assurance for the Customized Implants Production Using Additive Technologies // Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021, pp. 81–94 (DOI 10.1007/978-3-030-77719-7_9).

Л. Танович, д.т.н., проф.,
Белградский университет, Сербия

ВИСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ СЕРБИЯ В АСПЕКТЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В начале Болонского процесса у нескольких стран, т.е. у нескольких систем высшего образования была узнаваемая система качества, а спустя два десятилетия они стали ключевым инициатором изменений в европейских вузах.

Применение концепта Болонского процесса подразумевало проведение структурных реформ национальной системы высшего образования в Республике Сербия, в первую очередь требование, чтобы высшее образование стало частью ЕПВО, т.е. улучшить качество образования, обеспечить мобильность, улучшить качество знаний и конкурентности. Знание находится в основе всех промышленно развитых стран, а оно подразумевает образованное население, которое учит на протяжении всей жизни, согласовывает и меняет собственные способности в соответствии с технологическими инновациями и современными тенденциями в обществе. Этим образованным населением являются наши студенты, которые вместе с преподавателями составляют интеллектуальный капитал каждой страны и представляют собой носителей базирующегося на знаниях промышленного развития Республики Сербия.

Образовательный процесс в Сербии полностью усматривает преимущества и недостатки по отношению к ЕПВО, при чем старается сохранить свои

преимущества, а недостатки исправить в целях улучшения конкурентности вузов.

Численность студентов

Здесь рассматривается число студентов на кратких курсах (short-cycle), в бакалавриате (bachelor), магистратуре (master) и аспирантуре (doctoral). В учебном 2016/2017 году в ЕПВО было около 38 млн. студентов, при чем только в России и Турции было около 7,2 млн. или 19% (рис. 1). В России, Турции, Германии, Франции, Великобритании, Испании, Италии, Польше и на Украине было больше 1,5 млн. студентов, в то время как в остальных странах ЕПВО число студентов не было

больше 900.000. Если сравнивать уровни высшего образования, большинство студентов было зачислено на программы бакалавриата (bachelor), около 56,4%, в магистратуру (master) около 21,2%, а в программы аспирантуры (doctoral) только 2,7%. Оставшиеся 19,7% были зачислены на краткосрочные программы (short-cycle). По отношению к учебному 1999/2000 году наблюдаются различия в совокупности численности студентов внутри ЕПВО: в Турции число студентов увеличилось в 6 раз, на Кипре в 3 раза и в Албании в 2 раза, в то время как незначительное падение наблюдается в Молдавии (33%), Северной Македонии (19%), на Украине, в Латвии и Эстонии (по 10%). В Сербии в учебном 2016/2017 году было зачислено 262.000 студентов (3,7% населения), а к учебному 2019/2020 году число студентов упало примерно на 8% и вследствие демографических изменений составило 3,5% совокупного населения страны. В структуре студентов 75,6% было зачислено в бакалавриат, 19,8% в магистратуру, а 4,6% в аспирантуру. Из общего числа студентов, в учебном 2018/2019 году в государственные вузы было зачислено 86,4%, а в частные 13,6%. Такая же тенденция продолжилась и в учебном 2019/2020 году. Когда речь идет об успехе студентов, в учебном 2016/2017 году 51.596 студентов окончило свое образование, из чего 66,2% окончило бакалавриат, 30,5% магистратуру и 3,3% аспирантуру.

Преподавательский состав

Очень интересно проанализировать, как изменение числа студентов повлияло на изменение численности преподавательского состава в период с 2000 по 2007 год. В больше чем 40 странах ЕПВО численность преподавательского состава увеличилась, при чем самое большое увеличение замечается в Албании (415%) и на Кипре (200%). Помимо этих стран рост наблюдается и на Мальте, в Словении, Норвегии и Черногории (120-195%, рис. 2). Среди 13 стран, в которых наблюдается падение, больше всего оно присутствует в Грузии, Греции и Эстонии (25% или больше). За исключением Словении, в упомянутых странах рост численности преподавательского состава взаимосвязан с увеличением численности студентов. В Чехии, Ирландии, Греции, Франции, Молдавии и Азербайджане наблюдается падение численности преподавательского состава наряду с увеличением численности студентов.

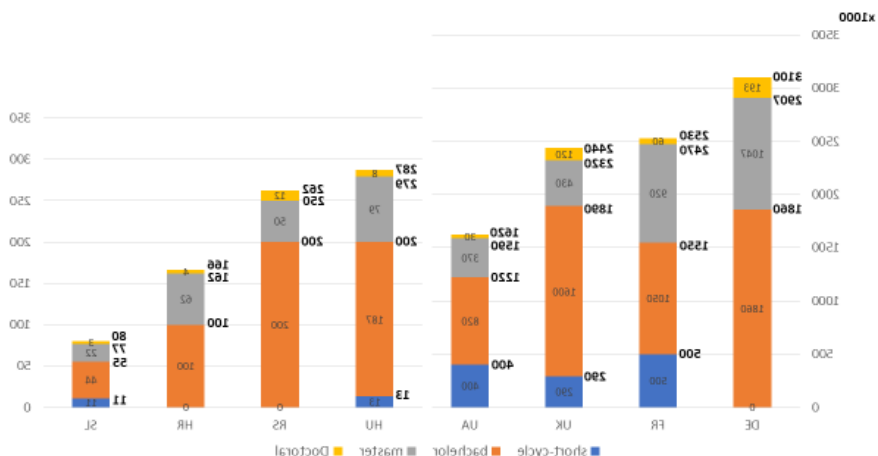


Рис.1. Численность студентов в высшем образовании в 2016/17 учебном году

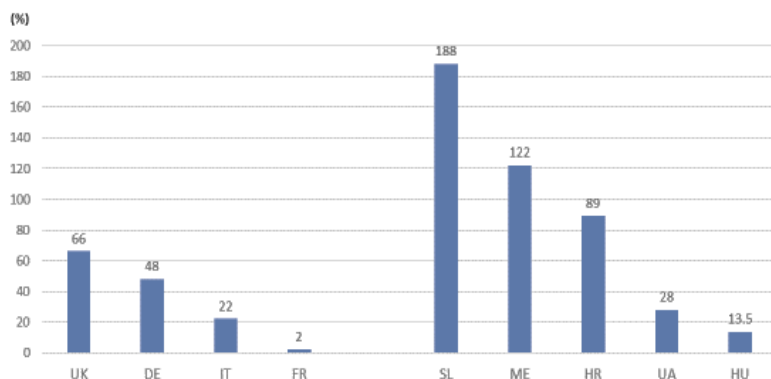


Рис.2. Изменение численности преподавательского состава в период с 2000 по 2017 год (%)

Старость является важной характеристикой преподавательского состава и она особенно важна в аспекте системного уровня планирования. В первой группе стран (Казахстан, Италия, Словения и Болгария) больше половины преподавательского состава старше 50 лет. В этих странах в среднесрочной перспективе могут возникнуть проблемы в обеспечении преподавательского кадра. Эта доля относительно высокая (46–48%) в Финляндии, России, Латвии и Швейцарии. Доля преподавательского состава старше 50 лет меньше 30% в Албании, Германии, Кипре, Андорре, Люксембурге и Лихтенштейне. В трех из этих стран, в Албании, на Кипре и в Андорре, больше 40% преподавательского состава относится к группе старости от 35 до 49 лет, в то время как в Германии,

Люксембурге и Лихтенштейне 40% преподавательского состава моложе 35 лет. В учебном 2016/2017 году в Сербии было 16.280 преподавателей, а в учебном 2019/2020 году 16.201, так что численность уменьшилась на 0,5%, при чем надо заметить, что численность преподавательского состава не соотносится к числу поступивших студентов, так что можно прийти к выводу, что наряду с уменьшением численности студентов произошло увеличение преподавательского состава.

Высшие учебные заведения

Когда рассматривается совокупный контекст развития сектора высшего образования, важно учесть не только изменение численности студентов и преподавательского состава, но и развитие высших учебных заведений. Число вузов в странах ЕПВО за последние два года увеличилось с 3.009 до 3.537. В некоторых странах наблюдается рост (в основном) частных вузов, в то время как в других странах число частных вузов уменьшается. Между тем в некоторых странах произошли соединение и консолидация вузов. Рост числа вузов больше всех зафиксирован во Франции (+387), Италии (+138) и Германии (+132). Большое увеличение в Германии объясняется ростом числа частных вузов. Резкое увеличение числа вузов во Франции можно отнести к увеличению числа вузов в области искусства. В Италии вузы в области искусства, музыки и танца не были включены в систему в учебном 1999/2000 году. В противоположность в 15 странах число вузов уменьшилось, а самое значительное падение произошло в Грузии (–160), Армении (–89), Португалии (–66) и Казахстане (–39). Другой целью рассматривания числа вузов является утверждение их соотношения на долю населения. Эта мера очень относительна, так как не учитывает величину вуза, но дает общее представление о состоянии вузов в ЕПВО. В 2018/2019 году в Сербии был 71 вуз, что по отношению к учебному 1999/2000 году представляет собой увеличение в 64, при чем надо подчеркнуть, что из них государственными являются 67% вузов.

Расходы на высшее образование

Европейские вузы финансируются в основном из публичных источников. Годовые государственные расходы на высшее образование как процент ВВП (валовой внутренний продукт) дают меру преданности государства поддержке высокому образованию, что очень полезно, когда сравниваются государства различной экономической силы. Финансовые расходы на высшее образование относятся к прямому финансированию высшего образования и к источникам из прямого сотрудничества с промышленностью.

В 2016 году средние государственные расходы на высшее образование по отношению к ВВП составили 0,95% в рамках ЕПВО. С 2,1% ВВП посвященному высокому образованию в 2016 году Норвегия была на первом месте, а затем следуют Швеция (1,9%), Финляндия (1,8%), Австрия (1,8%), Нидерланды (1,8%) и Турция (1,4%). В тех странах с относительно высоким уровнем государственных расходов на финансирование высшего образования высоким является и уровень поступления лиц старости 18–34 лет. Меньше всех

на высшее образование выделяли Азербайджан, Грузия, Армения, Казахстан и Андорра, меньше 0,5% ВВП в 2016 году. Всемирный экономический кризис сильно повлиял на уровень государственного финансирования образования, включая и высшее образование. Средний расход по студенту в рамках ЕПВО составил 6.780 евро. Скандинавские страны и Швейцария больше всех выделяли по студенту, около 17.000 евро в 2016 году, в то время как в 8 странах (Чехия, Турция, Венгрия, Польша, Латвия, Литва, Румыния и Болгария) затраты составили менее 4.000 евро по студенту. Доля ВВП на душу населения по отношению к выделению на одного студента дает более конкретную и сравнимую меру выделения на образование. Бюджетные выделения на вузы в Сербии за последние 10 лет находятся на уровне примерно 0,95% ВВП, но эти выделения не являются достаточными для нормального функционирования, поэтому вузы вынуждены финансироваться из других источников: бюджетные выделения 72,8%; плата за обучение 9,1%; сотрудничество с промышленностью 6,5% и остальное (иностранные проекты, предоставление консалтинговых и научно-исследовательских услуг).

Цифровизация

Пандемия, вызванная Covid-19, привела к изменению существующего вида образования и переходу к системе удаленного обучения. Это несомненно приведет к интенсивному развитию и применению искусственной интеллигенции, баз данных, интернета и возникновения новых технологий. Нам предстоит новая жизнь: мы будем жить в мире цифровых технологий, требующих новые знания и компетенции. Работа с широким кругом информации и сетевыми средствами изменит рабочие и культурные навыки, а также межчеловеческие отношения. Вузы должны будут намного быстрее приспосабливаться к будущим потребностям и требованиям и приготовить студентов и преподавателей действовать творчески в цифровом окружении. По окончании пандемии и по возвращении в нормальный образовательный процесс несомненно продолжится использование цифровых технологий и их расширение. Конечно, в последующий период надо ответить на многие вызовы, такие как: Какая роль цифровых технологий? Как должно осуществляться образование в цифровом окружении? Как цифровые технологии могут поддержать высшее образование?

УДК 621.923: 621.891

Г. Д. Ільницька, к.т.н, с.н.с.¹,

В. І. Лавріненко, д.т.н., проф.¹,

В.В. Смоквина, к.т.н.¹,

В. Ю. Солод, к.т.н., доц.²,

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України¹,

Дніпровський державний технічний університет²

ДОМІШКИ ТА ВКЛЮЧЕННЯ В АЛМАЗНИХ ЗЕРНАХ, ЯК ФАКТОР, ЯКИЙ НЕОБХІДНО ВРАХОВУВАТИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ В АЛМАЗНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

Для процесів алмазно-абразивної обробки застосовуються переважно алмази з діапазону марок АС6–АС20. Але якщо ми беремо конкретну марку алмазів, наприклад АС6, то відразу виникає усталений міф – для одної марки алмазів всі алмази однакові. А насправді синтетичні алмази однієї марки зовсім не є однаковими. Тобто, перед виготовленням алмазного кругу, треба розібратися, які саме алмази ми маємо: в якій системі вони синтезовані, скільки домішок і включень в них, які їх магнітні властивості, є вони сумішшю, чи це вже є одібрані алмази. Крім того, ці алмази є пористими і містять певну кількість включень і домішок і ці алмази можуть піддаватися термообробці, причому у алмазів із більшим вмістом домішок ефект у підвищенні міцності алмазних зерен буде більшим, адже у них існує можливість в залежності від кількості, виду домішок і включень в алмазі змінювати поверхневий елементний склад алмазів і заліковувати тріщини.

Завдяки особливостям кристалічної структури (всі 4 валентних електрони атомів карбону міцно зв'язані) ідеальний кристал алмаза (без домішок та дефектів ґратки) повинен бути прозорим для видимого світла діелектриком. В реальних же кристалах завжди існує певна кількість домішок та дефектів ґратки. Навіть в найбільш чистих ювелірних алмазах вміст домішок досягає 10^{18} атомів на 1 см^3 . Найбільш розповсюджені домішки – Si, Al, Ca та Mg. Розподіл домішок в алмазі може бути нерівномірним, наприклад, на периферії їх більше, аніж в центрі. Сильні зв'язки між атомами карбону в структурі алмаза приводять до того, що будь-яка недовершеність кристалічної ґратки алмаза впливає на його фізичні властивості. При загальному опису властивостей алмаза виходять з того, що максимальний вміст домішок складає 5 %, причому кількість однієї домішкової компоненти не перевищує 2 %. В технічних природних алмазах також зустрічаються тверді (олівін, піроксен, гранати, хромшпінеліди, графіт, оксиди заліза, кварц і т.п.), рідкі (вода, вуглекислота) та газоподібні (нітроген та ін.) включення.

Для синтетичних алмазів (особливо марок АС4–АС32) було звернено увагу на те, що зерна мають домішки та включення як на поверхні, так і в дефектах (порах) цієї поверхні (рис. 1), а поруватість є відмінною особливістю таких алмазів (див. рис. 1).

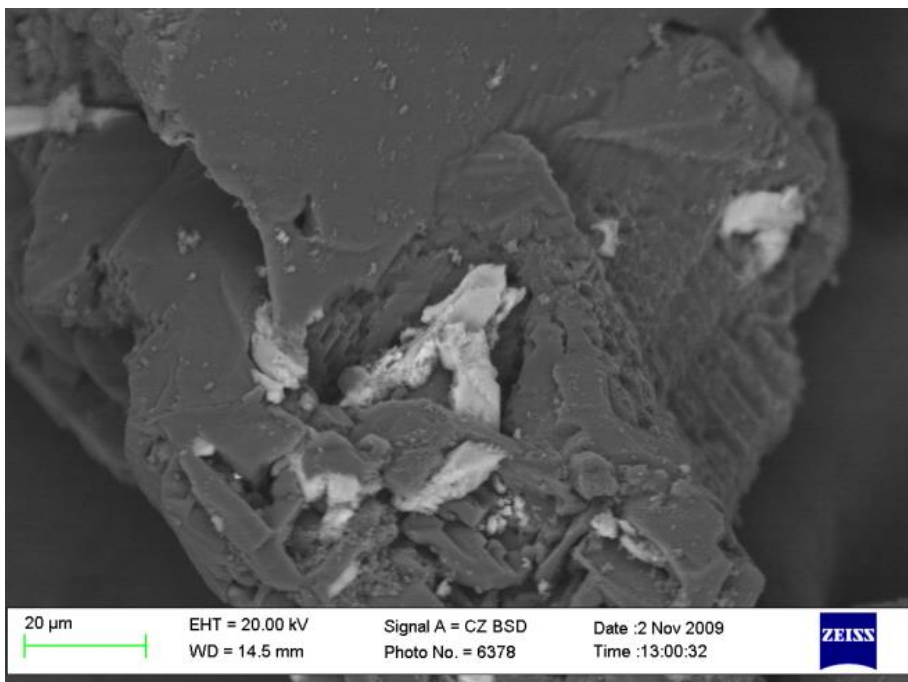


Рис. 1. Приклад наявності включень на поверхні та порах алмазів AC6 125/100 у вихідному стані

Нагадаємо, що алмаз при синтезі в системі метал (*Me*)–вуглець(*C*) отримують в спеціальних апаратах при високих *p, T*-умовах. Зазвичай, для зниження необхідних високих параметрів синтезу застосовують каталізатор у вигляді сплаву-розчинника. Вкажемо, що процес синтезу алмазів марок вказаної вище невисокої міцності відбувається при великих швидкостях росту кристалів, які при своєму рості захоплюють усі побічні фази, що є присутніми у реакційній камері. Ці фази (включення) – різного розміру: від атомних і до макроскопічних величин. Включення, які повністю законсервовані в кристалі алмаза, є об'ємними дефектами. Відомі з літератури дослідження з синтезу алмаза в основному виконані із застосуванням системи *Ni–Mn–C*. Разом з тим, існує певний інтерес до застосування більш дешевого сплаву-розчинника – *Fe–Si*. Виявлено, що вплив кремнію на сплави *Fe–C* є аналогічним до впливу нікелю, що дозволяє знизити термодинамічні параметри отримання алмаза. Між тим, алмази вказаних вище систем істотно різняться у якості та елементному складі внутрішньокристалічних і приповерхневих домішок металічних груп, які захоплюються від от сплаву-розчинника при синтезі, а тому суттєво відрізняються за своїми магнітними властивостями. Тобто, алмази однакової марки можуть отримуватися у різних ростових системах. Наслідком цього є те, що в них може бути різний вміст домішок (від 2 до 7 % за масою).

Таким чином, марка алмазів здавалося б однакова – АС6, а вміст і властивості можуть бути різними. Та власне це ми можемо і побачити, якщо покладемо ці алмази під мікроскоп (рис. 2). Ми бачимо там світлі зерна і темні. У цьому нашому випадку алмази АС20 100/80 були синтезовані в системі Ni–Mn–C і алмазна сировина, отримана після добування з продукту синтезу, піддавалася дробленню для усунення двійників, друзів, слабких дефектних зерен. Дроблений матеріал після хімічної обробки поверхні алмазів поділяли за розмірами зерен на окремі зернистості ситовим методом спочатку на ситах R-10 із отриманням зернистості 100/80. Тем не менш, видно (див. рис. 2), що і після такої підготовки зерна алмазів однієї марки різняться, особливо за кольором, і пов'язане це саме із масовим вмістом включень, тобто ці алмази марки АС20 не є однорідними.

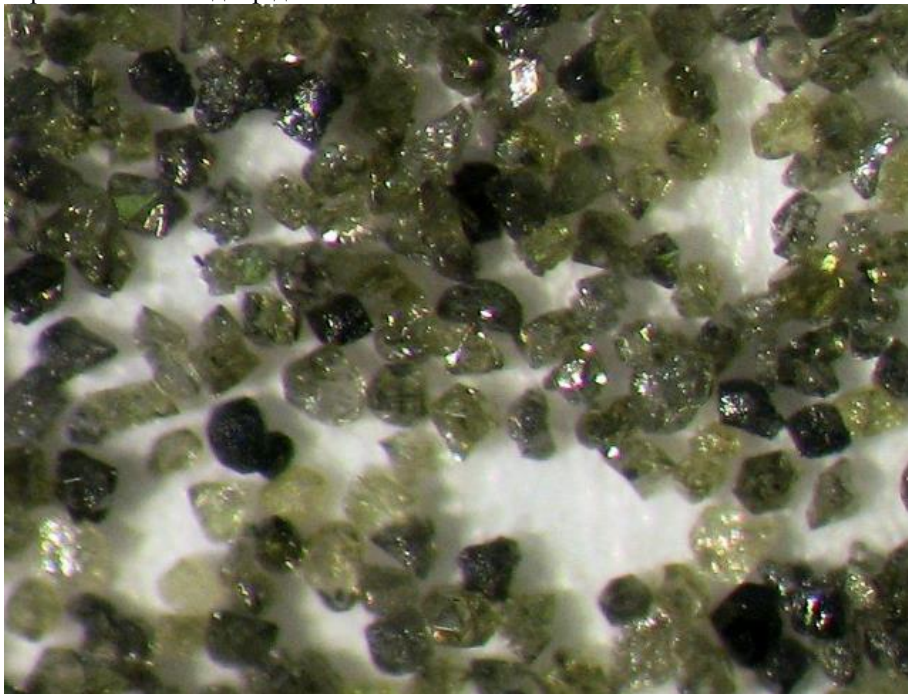


Рис. 2. Алмазні порошки марки АС20 100/80

Подивимося тепер на подальший поділ зерен АС20 за їх домішковим складом. Для цього вихідну суміш даних алмазів зернистості 100/90 поділяли в магнітному полі різної напруженості на магнітну і немагнітну фракції, і, після цього визначали статичну міцність зерен, питому магнітну сприйнятливість та вміст внутрішньокристалічних домішок і включень. В таблиці подані результати оцінки вказаних фізико-механічних характеристик алмазних порошків марки АС20 магнітної (див. рис. 2, темні зерна), немагнітної (див. рис. 2, світлі зерна), а також вихідної фракції (суміш, див. рис. 2).

Таблиця 1
Фізико-механічні характеристики алмазних порошків марки АС20 зернистості 100/90

Фракція	Характеристики			
	Питома магнітна сприйнятливості χ , 10^{-8} м ³ /кг	Вміст внутрішньокристалічних домішок і включень β , % (за масою)		Показник міцності, P , Н
		загальний	Ni, Mn, Fe, Cr, Co	
Магнітна	30,7	3,0451	2,8662	23,0
Немагнітна	4,2	1,3115	1,0754	16,4
Вихідна	18,7	2,5230	1,9875	18,1

Як видно з таблиці, після поділу в магнітному полі отримані алмазні порошки магнітної і немагнітної фракції різняться по значенню питомої магнітної сприйнятливості приблизно в 7 разів: от $30,7 \cdot 10^{-8}$ до $4,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. За вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень крайні фракції магнітного поділу різняться у 2,3 рази. При цьому міцність магнітної фракції збільшується у порівнянні із міцністю немагнітної фракції у 1,4 рази.

Як бачимо в порах алмазів невисокої міцності затримується певна кількість домішок. Виникає питання, а що відбувається із розвиненою поверхнею таких порошків, чи не затримується щось на ній? Для відповіді на це питання для алмазних порошків зернистості 100/90 марки АС20 вказаних фракцій на мас-спектрометрі МІ 1201 у інтервалі температур 20–1000 °С проводили аналіз парів води і диоксиду вуглецю, десорбованих з поверхні зразків. Для цього досліджували зразки переносили в кварцову кювету, вакуумували і знімали мас-спектри до 800 °С, швидкість нагріву складала 10 град/хв. [1]. Встановлено, що шорсткі поверхні усіх зразків алмазних порошків марки АС20 зернистості 100/90 (магнітної, немагнітної і вихідної фракцій) покриті певною кількістю ОН-груп, які, десорбуючись з поверхні алмазних зерен, створюють молекули води. Термодесорбційні спектри парів води до 200 °С свідчать про їх наявність на поверхні всіх зразків, а після 200 °С починає активно виділятися пара води, присутня у пористій структурі зразків. Термодесорбційна крива парів води на поверхні порошків немагнітної фракції вказує на найменший вміст парів води, у магнітної присутній більший вміст парів води.

Таким чином, підсумуємо. Чи є синтетичні алмази однієї марки однаковими? Як бачимо зовсім ні. Тобто, перед тим, як виготовити алмазний круг, треба розібратися, які саме алмази ми маємо: в якій системі вони синтезовані, скільки домішок і включень в них, які їх магнітні властивості, чи є вони сумішшю, чи це вже є одібрані алмази.

Література:

1. Исследование возможности улучшения эксплуатационных свойств алмазных порошков марки АС20 при изменении их размерных и физико-химических характеристик / В.И. Лавриненко, Г.Д. Ильницкая, Г.А. Петасюк и др. / Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 4. – С. 59–70.

УДК 539.4:620.178.3

В.С. Майборода, д.т.н, проф.¹,

Ю.С. Налимов, к.т.н., с.н.с.²,

А.В. Рутковский, к.т.н., с.н.с.²,

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»¹,

Институт сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины²

ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ СПЛАВА ЭК61 НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАЛОСТИ

Повышение свойств поверхностного слоя материала конструкционных деталей машин и механизмов путем различных методов технологической обработки всегда является важной и актуальной проблемой. В данной работе было исследовано влияние ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) рабочей части образцов из сплава ЭК61 на его характеристики усталости и изменение микротвердости поверхностного слоя – слоя, где происходит зарождение усталостной трещины.

На первом этапе для выбора рационального режима обработки образцов проводили поисковые исследования, варьируя такими режимными параметрами ИПТА, как температура, время и наличие/отсутствие насыщающих элементов. Всего было опробовано 10 вариантов режимных параметров ИПТА.

Эффективность того или иного режима обработки оценивали по результатам испытаний образцов на усталость. Испытания проводили при симметричном цикле нагружения образцов на установке на основе электродинамического вибратора и уровня нагружения в рабочей части образцов $\sigma = 600$ МПа. Число циклов до разрушения образца являлось критерием эффективности соответствующего режима обработки. Влияние технологической обработки ИПТА поверхности образцов оценивали по результатам, полученным при сравнительных испытаниях на усталость обработанных образцов и образцов в исходном состоянии.

Анализа полученных результатов пробных испытаний на усталость образцов позволил определить наиболее рациональный режим технологической обработки образцов методом ИПТА, который показал, что предел выносливости исходной партии образцов на базе $N = 10^7$ циклов равен $\sigma = 400$ МПа в то время как обработанные по технологии ИПТА не разрушились на базе $N = 10^7$ циклов в диапазоне напряжений от $\sigma = 500$ МПа до $\sigma = 600$ МПа. Причем четыре образца, которые были обработаны по технологии ИПТА не разрушились (рис.1).

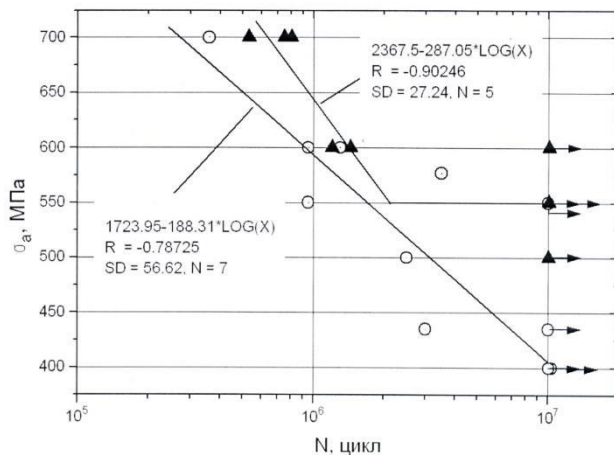


Рис. 1. Результати испытаний на усталость образцов из сплава ЭК61 после ИПТА – Δ , в исходном состоянии – $\circ$

Установлено, что предел выносливости образцов после ИПТА составляет $\sigma = 550$ МПа, т.е. на 37% выше, чем в исходном состоянии.

Изменения, которые произошли в поверхностном слое материала после обработки ИПТА, показали измерения микротвердости по глубине образца (рис.2). Показано, что величина микротвердости на поверхности и в приповерхностном слое образца после технологической обработки ИПТА на $\sim 60\%$ выше, чем у образца без обработки и только на глубине $\sim 0,035$ мм величины микротвердости становятся равными.

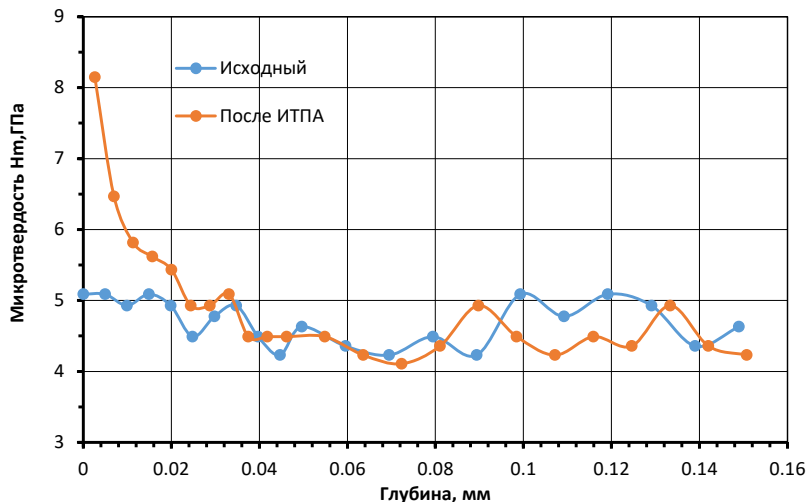


Рис. 2. Изменения поверхностной твердости образцов из сплава ЭК61 в исходном состоянии и после ИПТА

Показано, что в результате технологической обработки – ионно-плазменного термоциклического азотирования на поверхности образцов из сплава ЭК61 формируется упрочненный слой глубиной $\sim 0,035$ мм, который обеспечивает повышение их предела выносливости до величины $\sigma = 550$ МПа.

УДК 612.34.589

О.Ф. Саленко, д.т.н., проф.,

С.А. Перківський, маг.,

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

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ХЕМОГРАФІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЯВИЩ ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

Вивчаючи процеси окислення заготовки з деяких напівпровідників та металів (таких як Si, Ge, GaP, Ti, Cu, In), було встановлено [1], що у певних умовах поверхневі окислювальні процеси здатні створити у фотоемульсії плівки приховане зображення поверхні цих заготовок. Відкритий ефект реєстрації гетерогенних реакцій слабкої інтенсивності на поверхні твердого тіла отримав назву хемографії.

Проведені дослідження [2], [3] показали, що у переважній більшості випадків хемографічний ефект не пов'язується з окремою хімічною реакцією або присутністю конкретного реагента-домішки (хоча деякі матеріали становлять виключення: наприклад, алюміній та його сплави. Для таких матеріалів саме домішки дозволяють візуалізовувати хемографічний ефект, долаючи товщину завжди присутньої на поверхні окисної плівки Al_2O_3). Достеменно встановлено, що відкритий ефект ґрунтується на хімічній взаємодії молекул бромистого срібла з продуктами гетерогенних реакцій окислювального характеру, які протікають на поверхні твердого тіла. За схожістю впливу на молекули бромистого срібла активних молекул та дії світла поверхневі реакції було названо фотомолекулярним потоком (ФМП).

Можна вважати, що ФМП у хемографічному ефекті утворюють молекули одного й того ж елементного складу. Дослідники [1] вважають, що це проміжні продукти багатостадійних гетерогенних реакцій, які ведуть до утворення конкретного оксиду.

Коло задач, які можуть бути розв'язані при використанні методу хемографії, достатньо широке. Перед усім це задачі, пов'язані зі зміною стану поверхневого шару здатних до хемографічного ефекту матеріалів. Така зміна відбувається як при обробці матеріалів, так і при деградації поверхонь, що сприймають різні види динамічних навантажень, термічних впливів.

Для машинобудування відомо, що якісна та надійна робота інструменту забезпечується належним його контролем перед використанням, раціональними умовами експлуатації, відсутністю випадкових збурень, що порушують нормальний хід технологічного процесу. Прогнозованість працеспроможності інструменту та побудова відповідних моделей відмов дозволить виключити (або звести до мінімуму) аварійні ситуації, особливо в умовах автоматизованого виробництва. Використання хемографії може стати альтернативним методом, спроможним досить ефективно прогнозувати стан різальних поверхонь та розвиток ушкоджень у часі.

Іншим прикладним аспектом є задача опису розвитку пошкоджень при обробці матеріалів потужними рідинними потоками, або потоками вільного та ущільненого абразиву.

З фізики поверхні відомо, що будь-який згин на поверхні володіє надлишком енергії, що обумовлюється наявністю певної збільшеної кількості радикалів розташованих у приповерхневому шарі молекул. Однак ділянки поверхні на мікровиступах на мікрозаглибленнях у рівних енергетичних умовах знаходяться не будуть.

Потрапляння молекул води у мікрозаглиблення та їх наступна орієнтація може значно активізувати окислювальні поверхневі процеси, місце протікання яких позначиться ділянками засвітки на фотоплівці. При цьому інтенсивність окислення може бути досить високою, що з урахуванням розділювальної здатності метода і значної відстані h між поверхнею плівки і тіла викликатиме виникнення значно більших за розмірами плям на фотоплівці.

Однак при таких дослідях існує ряд обмежень, пов'язаних перш за все зі здатністю матеріалу до окислювання протягом певного часу. Таку здатність виявляють лише метали, у той час коли задача дослідження полягає у виявленні картин руйнування композитів, які переважно не є струмопровідними та нездатні до окислювальних реакцій, необхідна вакуумна металізація досліджуваної поверхні неметалевого композита із закріпленням отриманого шару металу хімічними реагентами. Створений таким чином додатковий шар металу надає змогу отримувати хемографічний ефект протягом певного часу. При цьому нанесена плівка внаслідок малої товщини шару суттєво не змінює фізико-механічні характеристики дослідних зразків, а хімічне закріплення плівки дає задовільну адгезію з поверхнею, що передувало передчасному руйнуванню плівки і її видалення швидкоплинним струменем або потоком евакуйованої рідини. У якості металу для осадження доцільно використовувати електротехнічну мідь.

Для виявлення прихованого зображення на поверхні твердого тіла та підвищення його якості та розрізнявальної спроможності зразки досліджуваних матеріалів потребують попередньої підготовки. Така підготовка зводиться до очищення поверхні від оксидів шляхом відколу, шліфування та полірування абразивними мікропорошками або шляхом травлення в HF. На час хемографічної експозиції досліджуваний зразок з фотоплівкою слід поміщати у світлонепроникну камеру, розроблену так, щоб поверхні фотопластили і зразка

були паралельними між собою та розташованими на відстані $10^{-3} \dots 10^{-4}$ м. У зазорі між поверхнями має бути рідина або газ.

За час експозиції відбувається обробка фотоемульсії потоком продуктів гетерогенних реакцій, емітованих з досліджуваної поверхні з утворенням у фотоемульсії прихованого зображення.

В роботі доведено наступне:

- різні матеріали при еталонному порівнянні мають відмінний ступінь засвічення;
- засвічення неоднорідне за густиною та за площиною дослідження, і пов'язане, переважно, з мікрогеометрією поверхні; граничним рівнем шорсткості для металевих зразків є шорсткість Ra 1.6 мкм; зменшення шорсткості проти зазначеного рівня істотних відмінностей при хемографії не викликає;
- ступінь засвічення корелює з кількістю вуглецю в досліджуваному зразку;
- існування поверхневого дефекту супроводжується різкою зміною густини засвічення у місці виникнення дефекту, при цьому мінімальний розмір зафіксованого дефекту становить 0.005 мм.

Показано ряд прикладних аспектів використання методу отримання хемографічних відбитків. Базуючись на попередніх дослідженнях хемографічного ефекту окремих металевих матеріалів, встановлено, що ступінь засвічення фотоматеріалу напряму залежить від тих особливостей технологічних переходів, які виконували для отримання дослідного зразка. Так, наприклад, обробка поверхні зі значною потужністю різання викликає збільшення ступеня засвічення фотопластинки на 15...40% у той час, коли мікрогеометричні параметри поверхні для всіх порівнюваних зразків залишалися незмінними. З поданого можна зробити висновок, що певну роль у візуалізації гетерогенних поверхневих реакцій відіграють енергетичні параметри поверхневого та приповерхневого шарів – зокрема, напружений стан поверхні.

Дійшовши висновку, що хемографічний ефект в основному пов'язаний із величиною залишкових напружень у поверхневому шарі, а не зі ступенем деформування кристалічної решітки матеріалу або з наявністю кристалічних дефектів, вакансій, дислокацій, тощо, активність яких значно зростає при прикладанні навантаження на поверхню, автором зроблено спробу отримати картини напруженого стану поверхні під дією швидкоплинного струменя. Порівняння ступеня засвічення матеріалу (у відсотках густини сірого кольору, встановленого програмою PPWIN) з розрахунковими значеннями залишкових напружень на глибині до 1.5 мм довело існування між цими двома факторами тісного кореляційного зв'язку ($R=0.958$).

Іншим прикладом є отримання ймовірнісних моделей відмов для твердосплавних пластинок марки ТК. Маючи хемографічне зображення початкової пластинки та порівнюючи його з еталонним, можна оцінити стан матеріалу, спрогнозувати період експлуатації пластинки. При цьому критерієм дефектів та недосконалості структури може бути параметр індексу чорноти,

максимальне значення якого свідчить про мінімум структурних порушень та внутрішніх дефектів.

При цьому основною гіпотезою є гіпотеза про збільшення щільності та площі хемографічного затемнення контрольованої поверхні перед началом критичного пошкодження.

Ще одним можливим аспектом використання даного методу є розроблена методика оцінки рівня газовиділення матеріалі, що використовуються у ракетно-космічній галузі. На відміну від відомих прийомів, хемографія дозволяє досить точно визначати масову долю летких речовин на поверхнях для конденсації, отже, дає можливість за відомими розрахунковими розрахунковими даними прогнозувати місця встановлення оптичного обладнання, а також перевірити пригодність технічних рішень з точки зору надійності експлуатації космічного апарату.

Застосування відповідного обладнання та методики дозволяє суттєво уточнити рівень прогнозування газовиділення і конденсації, а також дозволяє виконувати безпосереднє моделювання зазначених явищ для різних схемних рішень та використовуваних матеріалів.

Таким чином, доведено можливість використання хемографії як метода візуалізації деструктивного шару та мережі поверхневих мікротріщин при вивченні процесів руйнування матеріалів, у тому числі, неметалевих; відзначено основні переваги даного метода: простота виконання, можливість оцінки рівня залишкових напружень, візуалізація різних поверхневих дефектів, обумовленим станом досліджуваних неметалевих матеріалів. Встановлено взаємозв'язок стану досліджуваної поверхні з інтенсивністю виникаючих фотомолекулярних потоків, що фіксує бромне срібло.

В прикладному аспекті проведені дослідження дозволяють запропонувати новий високоефективний метод оцінки працездатності твердосплавних пластин на основі інтенсивності хемографічного ефекту, що фіксується на поверхні пластин. При цей зазначений ефект визначається початковим недосконалістю структури поверхневого шару (в тому числі, наявністю дефектів) і деградацією поверхні різання в процесі обробки. Доведено можливість застосування методу для вивчення механізму руйнування матеріалу.

Література:

1. Єлізаров М. О. Хемографічний метод візуалізації гетерогенних процесів малої і надмалої інтенсивності: автореферат дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.01 / М. О. Єлізаров. – Харків: ХНУРЕ, 2008. – 22 с.
2. Єлізаров М. О. Застосування фотоплівки для візуалізації гетерогенних реакцій надмалої інтенсивності / М. О. Єлізаров // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 597–600.
3. [Estimation of Damage Development and the Time of Failure of Cutting Inserts Made of Hard Alloys and Superhard Composites by Chemography Methods.](#) // M Zagirnyak, A Salenko, M Elizarov, O Chenchewa... - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020.

УДК 621.9.2

В.Л. Карнаух, інж.¹,
І.А. Бойко, к.т.н., інж.^{1,2},
Д.В. Деменко, аспірант^{1,2},
АТ Мотор Січ¹,

Національний університет «Запорізька політехніка»²

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Вступ людства в еру четвертої промислової революції (Industry 4.0) характеризується всебічною диджиталізацією промислового виробництва, яка проявляється в широкій автоматизації і роботизації виробничих процесів, необхідності обробки безпрецедентних обсягів інформації, використанні інтернету, штучного інтелекту, підвищенні екологічності виробництва, продуктивності праці тощо [1].

На сьогодні в промисловості склалася ситуація, коли обладнання, яке використовується, морально та фізично застаріло, а закупівля нового потребує значних капіталовкладень. Експлуатація та ремонт унаслідок фізичного зношування та відсутності запасних частин стають дорожчими. Переважно обладнання не відповідає технічним вимогам з причин зношування механічних та гідравлічних вузлів, а також електричної та електронної частин: електродвигунів, приводів і систем управління.

Модернізація діючого обладнання – це внесення в конструкцію машини змін та вдосконалень, які підвищують її технічний рівень та експлуатаційні параметри – продуктивність, довговічність і точність, безпечність роботи, легкість обслуговування [2].

Близько 30–50% вартості нового верстата складає вартість станини, таким чином виконання капітального ремонту або модернізації верстатів які використовуються у виробництві дозволяє заощадити до 30%, у порівнянні з вартістю придбання нового обладнання з співмірними технічними характеристиками.

Модернізацію технологічного обладнання проводять для усунення його морального або фізичного зношування. Причиною модернізації може бути низька ефективність використання технологічного обладнання та високі витрати на виробництво. До основних напрямків модернізації належать: підвищення швидкодійності, потужності, жорсткості, вібростійкості, надійності, скорочення допоміжного часу, автоматизація робочого циклу, концентрація операцій, покращення експлуатаційних якостей, збільшення кількості керуючих координат.

Модернізація верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) проводиться із заміною системи ЧПК, приводів, двигунів і вимірювальної

системи, установлюються високошвидкісні шпиндельні вузли з вбудованими синхронними та асинхронними двигунами, інструментальних магазинів тощо.

Сучасні тенденції виробництва спрямовані на скорочення машинного часу та трудомісткості, отже, і вартості одиниці продукції. Одним із найкращих розв'язань цієї проблеми є обробка деталей за одну установку, а для цього верстат повинен мати широкий діапазон просторової орієнтації деталі відносно інструменту. Досягти цього при модернізації навіть трикоординатних верстатів можна за рахунок установки програмно-поворотних столів, таким чином технологічне обладнання забезпечується додатковими круговими координатами (4-ою і 5-ою координатами). Саме цей напрямок у питанні модернізації металорізального обладнання був обраний керівництвом АТ «Мотор Січ».

Інженерами АТ «Мотор Січ» за останні 10 років була розроблена і виготовлена ціла лінійка програмно-поворотних столів із прямим приводом, яка не поступається за якістю і точністю імпортним аналогам. Система прямого приводу і контролю положення планшайби, що використовується в столах, забезпечує стабільне і рівномірне обертання, що гарантує високу точність позиціонування. У якості приводу використовуються високомоментні двигуни різних типорозмірів фірм Etel і Siemens. Вимірювання кутових переміщень здійснюється датчиками контролю кутового положення прямої дії Renishaw, які відрізняються високою точністю вимірювань у межах кутових секунд і мають хороші динамічні властивості. Використання комбінованих упорно-радіальних роликів підшипників забезпечує високу жорсткість по перекидаючому моменту. Управління столом, включаючи управління приводом і датчиком положення, інтегровано в ЧПУ і має забезпечуватися системою управління верстата, на який установлюється стіл. Програмно-поворотний стіл є жорсткою конструкцією з литої чавунної станини, планшайби, механізмів повороту і затиску планшайби. Залежно від компоновального рішення встановлюється внутрішній або зовнішній кабелеукладач для прокладки електрокабелів, рукавів гідравліки і системи охолодження електродвигунів.

Програмно-поворотні столи можуть експлуатуватися у двох режимах: у силовому, коли обертання планшайби стола, на якій встановлена деталь може здійснюватися безперервно в процесі обробки, і в режимі позиціонування, коли планшайба виходить у задане кутове положення в проміжках між обробкою деталі й утримується за допомогою гальма.

У якості базової системи ЧПК для обробних центрів була обрана SINUMERIK 840D – багатофункціональна модульна система з цифровими приводами SIMODRIVE 611D, що дозволяє здійснювати управління практично будь-якими типами верстатів. Для інших верстатів використовують такі ЧПК: Sinumerik 802C, 802D, 840D sl., а також установлюються системи ЧПК вітчизняного виробника WLXX – ТОВ "Вест Лабс ЛТД", м.Харків.

За рахунок використання програмно-поворотних столів виробництва АТ «Мотор Січ» удалося значно розширити технологічні можливості верстатів IP500ПФМ4, IP800ПФМ4 (рис.1, а, б), IC800ПМФ4 (рис.1, в, г), МА655 (рис.1, д), ФП-17СМН5, MCFHD-80 та багато інших. Наприклад, для обробки

лопаток вентилятора газотурбінних авіаційних двигунів розроблено проект модернізації горизонтально-фрезерного верстата з ЧПК МА655, який полягає у встановленні на спеціально виготовлену плиту двох співвісних силових поворотних столів (вісь А), обертання яких синхронізовано, а відстань між торцями двох столів регулюється в діапазоні від 250 до 700 мм. П'ята програмована координата на верстаті забезпечується поворотом шпиндельного вузла (вісь В) в межах від $+45^\circ$ до -45° .



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Технологічні можливості верстатів

Література:

1. Кузнецов, Ю. Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными [Текст] / Ю. Н. Кузнецов // Вестник ХНТУ. – 2017. – №2(61). – С. 67–75.
2. Обладнання для новітніх технологій [Текст] : навч. посібник / В. В. Солоха, Л. Й. Івченко, І. А. Бойко та інші. – Запоріжжя. : Мотор Січ, 2021. – 209 с.

В.О. Бовда, к.ф.-м.н., с.н.с.¹,

О.М. Бовда, н.с.¹,

Р.Л. Васіленко, м.н.с.¹,

І.В. Колодій, м.н.с.¹,

О.О. Кондратов, інж. дослід.¹,

Л.В. Онищенко, н.с.¹,

І.Г. Танцюра, інж. дослід. виш. кат.¹,

І.М. Токар, інж. дослід.²,

*Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"*¹,

*ТОВ Науково-виробнича фірма "Поліус-Н"*²

ВПЛИВ ОБРОБКИ ЗА ПРИНЦИПОМ АУСФОРМІНГУ НА ФАЗОВО-СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ У КОБАЛЬТІ

Сучасні світові тенденції до зменшення енергоємності процесу обробки каменю та кількості відходів вимагають мініатюризації існуючого інструменту, що в свою чергу обмежує можливості компактизації виробів під високим тиском. Незважаючи на широкий спектр металевих зв'язок і методів отримання алмазних композитів найбільш поширеними для обробки твердих гранітів залишаються сплави на основі високовартісного кобальту завдяки високій абразивній зносостійкості і здатності витримувати високі ударні навантаження.

За нормальних умов кобальт має ЩГУ структуру та невелику кількість метастабільної ГЦК фази через низьку енергію дефекту пакування. При повільному нагріві в температурному діапазоні 417–472 °С відбувається бездифузійний фазовий перехід мартенситного типу із ЩГУ до ГЦК структури. В залежності від розмірів зерна, концентрації домішок, швидкості охолодження і нагрівання, ступеня деформації та розмірів самого зразка спостерігається затримка переходу від ГЦК до ЩГУ структури. Механічні властивості кобальту сильно залежать від чистоти, термомеханічної історії та співвідношення ГЦК-ЩГУ фаз. Збільшення вмісту ЩГУ фази зазвичай покращує твердість, проте зменшує пластичність зразків.

Таким чином, представляє інтерес щодо можливості керування процесом підвищення механічних характеристик високочистих кобальтових сплавів методами механіко-термічної обробки, за принципами аусформінгу мартенситно-феритних сталей, а саме деформація в області стабільності високотемпературної ГЦК фази із швидким охолодженням, або наступною термічною обробкою в низькотемпературній області існування ЩГУ структури.

З цією метою, для виготовлення порошкових модельних зразків було використано порошок кобальту високої чистоти. Подрібнення порошку проводили механічним засобом. Одноосьове пресування проводили на ручному пресі. Тиск пресування становив 6,0 т/см². Співвідношення висоти до діаметру та об'єм порошкової заготовки було наближено до робочого ріжучого тіла канатної алмазної пили діаметрами від 7,2 до 11 мм. Вакуумне спікання

проводилось при $T=880^{\circ}\text{C}$ протягом 1 та 2 годин із наступним газоізостатичним пресуванням (ГП) при $T=880^{\circ}\text{C}$ та $P=112\text{МПа}$ або термічною обробкою $480^{\circ}\text{C} + 320^{\circ}\text{C}$ 2ч. Структуру і фазовий склад зразків досліджували на оптичному мікроскопі ММР4 і електронному мікроскопі JEOL SM-7001F та методом рентгеноструктурного аналізу у СоК випромінюванні. Мікротвердість визначали за стандартною методикою. ГЦК-ЩГУ перехід досліджували методом температурної залежності електричного опору.

За результатами досліджень встановлено, що подрібнення вихідного Со порошку високої чистоти ускладнюється утворенням агломератів через його високу пластичність (рис. 1).

Таблиця 1

Залежність мікротвердості і густини від умов обробки

	Спінання $T=880^{\circ}\text{C}$		ГП		ТО $480^{\circ}\text{C} + 320^{\circ}\text{C}$	
Час, спінання	ρ , г/см ³	Н _ц , МПа	ρ , г/см ³	Н _ц , МПа	ρ , г/см ³	Н _ц , МПа
1 год	8,2	1950	8,8	2770	8,3	2210
2 год	8,3	2230	8,8	3050		

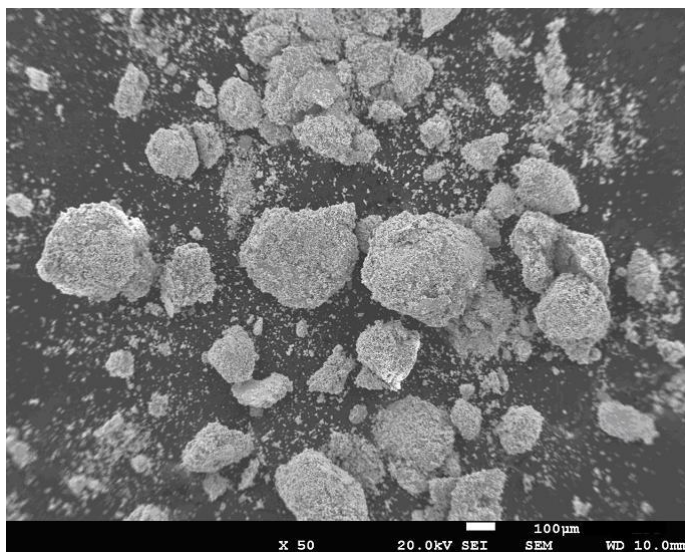


Рис. 1. Подрібнений порошок кобальту

Збільшення часу спінання у двічі веде до незначного зростання густини і мікротвердості, проте із застосуванням ГП цей ефект значно посилюється. Після ГП відбувається повне заліковування пор у спечених зразках, що супроводжується ростом густини до майже теоретичного значення (рис. 2). Термічна обробка в діапазоні температур ГЦК-ЩГУ також дещо збільшує Н_ц через фазовий наклеп.

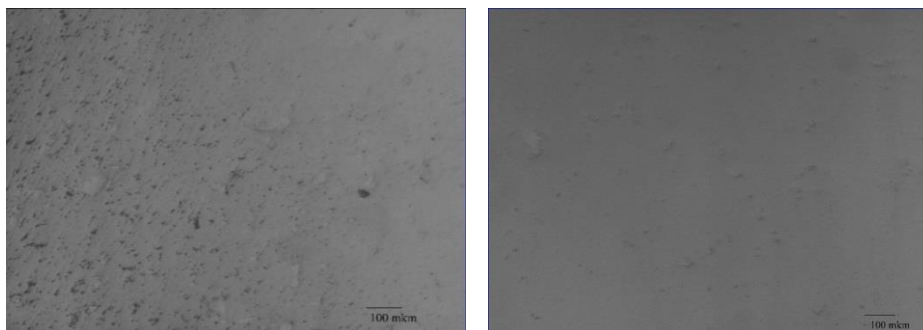
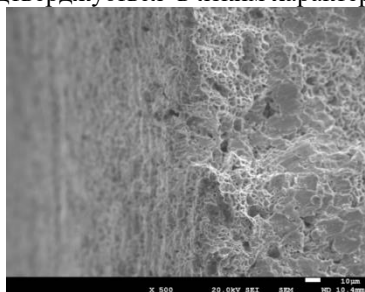


Рис. 2. Структура спеченого зразку Со (1 год) при $T=880^{\circ}\text{C}$ та після ГПІ

Механізм підвищення мікротвердості після ТО і ГПІ має складний характер, та може бути пов'язаний як із коалісценцією мікропор, і як наслідок збільшення густини дислокацій, так і з структурно-фазовим станом. Після спікання, основною фазою є кубічний кобальт Со- α із масовою долею 92,0 мас %, параметр ґратки дорівнює $a = 3,5441\text{\AA}$, решта гексагональний кобальт Со- ϵ з параметрами ґратки $a = 2,508\text{\AA}$; $c = 4,071\text{\AA}$. Розподіл інтенсивностей дифракційних ліній відповідає полікристалічному нетекстурованому стану. Після термічної обробки в зразках так само спостерігається дві модифікації кобальту, проте їх співвідношення знаходиться приблизно в однаковому співвідношенні, параметри ґратки становили $a = 3,546\text{\AA}$ для Со- α і $a = 2,508\text{\AA}$; $c = 4,075\text{\AA}$ для Со- ϵ відповідно. Таким чином в результаті термічної обробки в області ГЦК фази можливе досягнення, як високої міцності так і пластичності, що на мікроскопічних масштабах підтверджується в'язким характером руйнування (рис. 3, а).



а)



б)

Рис. 3. Характер злому Со сплаву після ТО та робоче ріжуче тіло діаметром 11мм

Для оцінки впливу структурно-фазового стану кобальтової металевої матриці було виготовлено робочі ріжучі тіла діаметром 11мм для канатної алмазної пили (Рис. 3 б). За результатами випробувань було встановлено, що ГПІ та термічна обробка підвищують ресурс інструменту на 10–15% при обробці високоміцних грантів.

УДК 19.818:519.71:621.865.8

В.А. Кирилович, д.т.н., проф.,
Р.В. Шубенко, маг.,
О.Д. Білоцький, маг.,
Державний університет “Житомирська політехніка”

ЗМІСТ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ СЕРЕДИННИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ НЕЧІТКОМУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОМУ ВИБОРІ АЛЬТЕРНАТИВ: СЕРЕДИННИЙ ВИПАДОК

В державному університеті “Житомирська політехніка” (ДУ “ЖП”) розроблена нова методика розв’язування задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив: серединний випадок. Реалізація методики передбачає обчислення розроблених спеціальних відношень, що засновані на відповідних порівняннях із певним чином розрахованими так званими серединними параметрами. В якості останніх вибрано найбільш відомі середні значення, що розраховуються за відомими виразами для певних множин або числових рядів, а саме: медіана, середньоарифметична, середньоквадратична та середньогеометрична величини, що в подальшому фігурують відповідно як **m**, **a**, **σ** та **o** в якості лівих верхніх символів при певних параметрах. При цьому розрахунки медіани, що визначає медіанний серединний параметр, дещо відрізняються для парної і непарної кількості елементів аналізованих множин, що в даному випадку є результатом певним чином оброблених рангових оцінок кожного елемента із дискретної множини локальних критеріїв (ДМЛК), тобто матриці попередньо проведеного експертного опитування методом анкетування.

Загалом дана методика як з врахуванням змісту задачі багатокритеріальної дискретної оптимізації, так і з врахуванням відповідним чином розрахованих серединних параметрів, є перетворенням первинно неупорядкованої множини локальних критеріїв ${}^kS_{(i)}$ в їх упорядковану множину ${}^kS_{<j>}$ реалізацією кінцевої множини функцій прийняття рішень ${}^k\Phi$. Тут та далі символом **k** позначено вид серединного параметра $\mathbf{k} = (\mathbf{m}, \mathbf{a}, \mathbf{\sigma}, \mathbf{o})$. Таким чином, фактично розроблено 4 методики нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив серединного випадку. Їх змістовною особливістю є розрахунок кінцевої множини (4 найменування) серединних параметрів, що є значущими в методично обумовлених процедурах реалізації даних методик.

Вказане визначило назву розроблених одноіменних методик серединного випадку: **Middle Method Solution** – ${}^m\mathbf{MMS}$, ${}^a\mathbf{MMS}$, ${}^{\sigma}\mathbf{MMS}$ та ${}^o\mathbf{MMS}$ та відповідно визначило множину їх розв’язків: ${}^m\mathbf{S}_{<j>}$, ${}^a\mathbf{S}_{<j>}$, ${}^{\sigma}\mathbf{S}_{<j>}$ та ${}^o\mathbf{S}_{<j>}$.

Для проведення подальших дослідженнях щодо надання пріоритетів використання розроблених методик для розв’язування задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив необхідним є порівняння кінцевої множини результатів, отриманих такими методиками: **WMS** (**W**orst **M**ethod

Solution, модифікована Кириловичем В.А., програмно реалізована іншими співавторами), **QBMS** (Quasi-Best Method Solution, розроблена Кириловичем В.А., програмно реалізована іншими співавторами), **^kMMS**, **k = (m, a, σ, o)** (**Middle Method Solution**, розроблені Кириловичем В.А., програмно реалізовані іншими співавторами). Тобто необхідним є надання відповідних пріоритетів на множині 6 альтернатив, що є розв'язками тих чи інших задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив.

Очевидною при цьому є певна диспропорційність аналізованих альтернатив в межах кожної із розв'язуваних задач нечіткого вибору. Це визначається тим, що 4 із 6 розв'язків вказаних задач є такими, що отримані методиками серединного випадку. Така ситуація при подальшому ранжуванні отриманих результатів може супроводжуватись певним домінуванням рішень серединним випадком на кінцевий результат визначення пріоритетів аналізованої множини методик **WMS**, **QBMS**, **^mMMS**, **^aMMS**, **^σMMS**, та **^oMMS**. Підтвердженням сказаного є те, що аналіз результатів їх попарних порівнянь за критеріями Спірмена для прикладу нечіткого багатокритеріального вибору роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) показує дуже високу узгодженість думок експертів, які практично співпадають $\rho(^mS_{<j>}, ^aS_{<j>})_{\min}=0,909$, $\rho(^aS_{<j>}, ^oS_{<j>})_{\max}=1,000$. Тут в дужках вказані пари порівнянь за Спірменом результатів розв'язування вказаної задачі розробленими методиками серединного випадку, а індекси **min** та **max** визначають межі їх інтервальних значень. Крім того, узагальнене порівняння всієї множини 4 розв'язків за коефіцієнтом конкордації Кендалла **W**=0,747 вказує на хорошу узгодженість думок експертів. Саме для таких випадків, коли переважна більшість розв'язків характеризується високими **ρ** та **W**, доцільно вибрати те рішення із множини отриманих розв'язків, яке є пріоритетним. Для цього запропоновано використати процедуру нормалізації норм. Для задачі нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ таким пріоритетом є розв'зок **^σS_{<j>}**, що отримано із кортежу **^kS_{<j>} =< ^σS_{<j>}, ^aS_{<j>}, ^σS_{<j>}, ^mS_{<j>}>**.

Загалом результати процедури нормалізації норм можуть бути різними щодо послідовності елементів в кортежі **^kS_{<j>}** і визначаються змістом задачі, кваліфікацією експертів, їх кількістю та результатами строгого експертного ранжування відповідних компонентів ДМЛК.

Працездатність розроблених методик перевірена багатокритеріальним вибором альтернатив серединним випадком при розв'язуванні задач різного змісту та направленості, а саме: згаданої задачі вибору РМСТ, упорядкування критеріїв тестування ІТ-програм та використовується в навчальному процесі кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна.

УДК 19.818:519.71:621.865.8

В.А. Кирилович, д.т.н., проф.,
О.Д. Білоцький, маг.,
Р.В. Шубенко, маг.,
Державний університет “Житомирська політехніка”

ОСОБЛИВОСТІ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ GRA

Один із підходів щодо розв’язування достатньо великої кількості практичних та теоретичних задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив передбачає використання експертних оцінок.

Задача вибору роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) в своїй апріорній постановці відноситься до задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив. Зміст цієї задачі зводиться до упорядкування початково неупорядкованої дискретної множини локальних критеріїв (ДМЛК) вибору $S = (S_j | \forall j = \overline{1, m})$ в упорядковану множину $S_{<} = \langle S_j | \forall j = \overline{1, m} \rangle$, де m – кількість елементів ДМЛК.

Локальними критеріями в свою чергу є відомі складові РМСТ: $S_1 = Gm$ – геометричний; $S_2 = Kn$ – кінематичний; $S_3 = Dn$ – динамічний; $S_4 = Ct$ – управлінський; $S_5 = En$ – енергетичний; $S_6 = Tr$ – траєкторний; $S_7 = \tau(Q)$ – часовий (продуктивності); $S_8 = Rl$ – надійнісний; $S_9 = Ec$ – економічний; $S_{10} = Ac$ – точнісний; $S_{11} = Fc$ – силовий; $S_{12} = Fopt$ – складові, що визначені прийнятними видами критеріїв (економічних, технічних тощо). Тобто $m=12$.

В якості множини альтернатив в даній роботі аналізуються попередньо отримані результати розв’язування задачі вибору РМСТ за методиками, що розроблені в Державному університеті “Житомирська політехніка”, а саме: $M1$ – методика найгіршого випадку $M1(WMS)$; $M2$ – методика квазікращого випадку $M2(QBMS)$; $^{\sigma}M3$ – методика серединного випадку з середньоквадратичним методом визначення серединного параметру $^{\sigma}M3(^{\sigma}MMS)$. Таким чином, кількість аналізованих альтернатив $n=3$.

Попередньо проведена перевірка узгодженості за вхідними альтернативами, які в даному випадку є результатами нечіткого вибору, отриманими за різними методиками. Узгодженість вхідних альтернатив за кореляцією рангу Спірмена (p) між всіма парами, позначеними нижніми правими індексами, зазначених вище альтернатив має наступні кількісні оцінки: $p_{M1-M2}=0,559$ – помітна узгодженість між альтернативами; $p_{M1-^{\sigma}M3}=-0,105$ – альтернативи практично неузгоджені; $p_{M2-^{\sigma}M3}=0,371$ – слабка узгодженість між альтернативами. В той же час коефіцієнт кореляції рангу Кендалла $W=0,517$ вказує на слабку узгодженість між аналізованими альтернативами. Загалом вказані кількісні результати узгодженості характеризуються відсутністю узгодженості між

ними. Це є своєрідним “дозвільним” моментом щодо можливості та доцільності проведення подальших досліджень даного напрямку.

Одним із існуючих методів, що набув широкого використання при розв’язуванні подібних задач і тому може бути використаний для розв’язування даної задачі, є метод **Grey Relational Analysis (GRA)**, що був розроблений Джулоном Денгом з Університету науки і техніки Хуачжун (КНР). **GRA** використовує специфічне поняття інформації. Він визначає ситуації, в яких немає інформації – як чорні, а ситуації з ідеальною інформацією – як білі. Однак у реальних задачах така ідеалізована ситуація виникає вкрай рідко. Ситуації між цими протилежностями містять розсіянні знання (часткова інформація) і тому описуються як сірі, туманні або нечіткі (звідси і назва методу).

Загалом метод **GRA** може бути використаний для ефективного розв’язування комплексу взаємозв’язків між кількома характеристиками або параметрами шляхом оптимізації сірих реляційних класів. Він використовує генерацію сірих реляцій і обчислює коефіцієнти сірих реляцій для розв’язання невизначених систематичних проблем у статусі тільки частково відомої інформації. Коефіцієнт сірого співвідношення виражає взаємозв’язок між бажаними і фактичними результатами, а сірий реляційний клас одночасно обчислюється і використовується для вибору та ранжирування альтернатив.

Метод **GRA** реалізується наступними стислими кроками із врахуванням попередньо визначених ваг всіх локальних критеріїв. **Крок 1:** Генерація співвідношення сірого (обробка всіх значень критеріїв для кожної альтернативи). Використовуються 2 варіанти рівнянь в залежності від корисності або некорисності критерію (на розгляд оператора). **Крок 2:** Визначення еталонної послідовності. **Крок 3:** Розрахунок коефіцієнта сірого співвідношення γ . **Крок 4:** Обчислення сірого реляційного класу. Вказані процедурні кроки **GRA** мають на меті забезпечити повне ранжування кінцевого набору можливих альтернатив (тобто визначених вище аналізованих результатів, отриманих за методиками **M1 (WMS)**, **M2 (QBMS)** та **σM3 (σMMS)** від найгіршого до найкращого або навпаки.

Кінцеве рішення задачі нечіткого вибору РМСТ, яке отримане за методом **GRA**, є наступним:

$$\langle S_j | \forall j = \overline{1, m} \rangle_{GRA} = \left(\frac{0.32667}{M1 (WMS)}, \frac{0.31004}{\sigma M3 (\sigma MMS)}, \frac{0.29146}{M2 (QBMS)} \right).$$

У даному виразі в чисельнику представлено визначені нечіткі оцінки пріоритетів, а в знаменнику – відповідна вхідна альтернатива у вигляді наведених вище методик.

Таким чином, в даному дослідженні кінцевим результатом є сформована упорядкована за методом **GRA** множина $\langle S_j | \forall j = \overline{1, m} \rangle$, яка вказує на те, що найкращим при розв’язуванні задачі нечіткого багатокритеріального вибору РМСТ є результат, отриманий за методикою **M1 (WMS)**, а найгірший результат отримано за методикою **M2 (QBMS)**.

УДК 338.012

Г.О. Райковська, д.пед. наук, проф.,
Державний університет «Житомирська політехніка»

СТАН МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

У сучасних євроінтеграційних умовах велика увага приділяється роботі саме машинобудівних підприємств, оскільки ефективність їхнього функціонування визначає продуктивність праці в інших галузях економіки будь-якої розвиненої країни або країни, що розвивається.

Слід відмітити, що машинобудування – це потужний міжгалузевий комплекс галузей обробної промисловості з виробництва машин, обладнання, устаткування, приладів і пов'язаної з ними продукції для господарських потреб і потреб людини. Крім того, машинобудівний комплекс України – це багатогалузева система промислового сектору економіки України, яка налічує майже 4,5 тис підприємств.

В Україні розвинуте широкопрофільне машинобудування, підприємства якого формують складний, взаємопов'язаний машинобудівний комплекс. До його складу входять усі основні галузі машинобудування (рис. 1). Провідні місця посідають приладобудування, тракторне і сільськогосподарське машинобудування; розвиваються автомобілебудування, промисловість металевих конструкцій, верстатобудівна та інструментальна.



Рис. 1. Найбільші сектори машинобудування

Становлення і розвиток машинобудування тривало протягом кількох століть. У конструювання нових машин увесь час впроваджувалися все нові й нові відкриття фізики. Загальносвітовою тенденцією стало постійне ускладнення машин та розширення їх асортименту. Із часом машини почали робити все меншими за габаритами, тобто відбулася їх мініатюризація. Металомісткість зменшилася, водночас зросла праце- та наукомісткість виробництва. Набули розвитку такі новітні виробництва, як електроніка, робототехніка, біомеханіка, моделювання біологічних систем.

В галузевій структурі світової торгівлі продукцією машинобудування домінують виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції (2 804 млрд. дол. США) та машини і устаткування (1 501 млрд. дол. США), на які сумарно припадає близько 60% обсягів торгівлі.

Обсяги реалізованої промислової продукції у всіх сегментах машинобудування в 2010–2020 рр. демонстрували наступну динаміку (рис. 2). Найвищі темпи зростання спостерігалися в торгівлі автотранспортними в 2010–2012 роках. Найменш розвиненим на теренах нашої держави продовжує залишатися такий напрям машинобудівної промисловості, як виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції.



Примітка: Річні дані щодо обсягів реалізованої продукції за результатами структурного обстеження підприємств сформовано за вирахуванням податку на додану вартість (ПДВ). Побудовано на основі даних [1].

Рис. 2. Обсяг реалізованої промислової продукції машинобудування у 2010–2020 роках

Також, аналіз стану машинобудівної галузі України свідчить про тривожні тенденції її розвитку. За останнє десятиріччя відчутно скоротилися частка великих та середніх машинобудівних підприємств, а малих навпаки – збільшилася.

Машинобудування відноситься до групи складного технологічного виробництва, тому для нього наявність інновацій рівнозначна конкурентоздатності.

Загальний обсяг витрат українських машинобудівних підприємств на інноваційну діяльність протягом 2010–2017рр. в номінальному вираженні збільшився на 28%, відповідно, з 2,44 млрд. грн. до 3,11 млрд. грн. Однак, частка витрат на інноваційну діяльність в структурі реалізації машинобудівної продукції знизилася із 2,43% в 2010 р. до 1,89% в 2017р. [2].

Перспективні напрямки розвитку машинобудування – створення видів підприємств і розширення міжгалузевих зв'язків, докорінна модернізація машинобудівних підприємств, розвиток нових галузей і випуск нових товарів, збільшення експортного потенціалу комплексу.

Література:

1. Державна служба статистики України. Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/pr/orp_rik/arh_orp_rik_u.html
2. Машинобудівна галузь в Україні: потенціал та можливості для розширення експорту на період до 2021 року. – ДП «УКРПРОМЗОВНІШЕКСПЕРТИЗА». Режим доступу: [file:///C:/Users/User/Downloads/Report_mechanical_engineering_Report_Final_050_62019%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Report_mechanical_engineering_Report_Final_050_62019%20(2).pdf)

УДК 621.9

Г.П. Клименко, д.т.н., проф.,
Я.В. Васильченко, д.т.н., проф.,
Донбаська державна машинобудівна академія

ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ

Статистичні дослідження в виробничих умовах показали, що основними причинами відмов інструменту при точінні поряд з втратою міцності і зносостійкості різців є відсутність стабільного стружкоподріблення. Найбільш поширеним способом управління процесом стружкоподріблення є використання збірних різців зі спеціальною геометрією передніх поверхонь різальних пластин. Однак у процесі роботи інструменту зношується його передня поверхня, змінюючи профіль стружколомаючих елементів конструкції пластини. У зв'язку з імовірнісним характером процесу різання в загальному випадку при точінні твердосплавним інструментом розподіл періоду його стійкості, не суперечить нормальному закону з коефіцієнтом варіації стійкості $\leq 0,33$ або законом Вейбулла – Гнеденко з коефіцієнтом варіації стійкості, який дорівнює $0,4...0,9$. У певний проміжок часу, який може бути більше або менше

середнього періоду стійкості, з'являється при точінні несприятлива форма стружки, яка свідчить про відсутність стабільного стружкоподріблення. Проміжок часу появи несприятливої стружки має випадковий характер. Його розподіл залежить від великої кількості факторів.

Мета роботи – підвищення стабільності роботи збірних різців шляхом нанесення зносостійких покриттів

Результати експериментальної перевірки впливу нанесення зносостійких покриттів на передню поверхню різальної пластини на рівень стабільності роботи інструменту, який характеризують коефіцієнтом варіації його стійкості, подані в таблиці 12.9.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень надійності збірних різців

Деталь	Різальна пластина	Режими різання			Об'єм виборки	Розподіл періоду стійкості різця	
	Матеріал	t , мм	S , мм/об	V , м/хв		Коеф. варіац.	Закон, Параметри
1 ШХ15СГ	T15K6	4.4	0.56	84	21	0.68	Вейбулла – Гнеденко $a=34.1$, $b=1.5$
2 ШХ15СГ	T15K6+ TiN+N ⁺	4.4	0.56	84	17	0.32	Нормальний $T=42.0$ $\sigma=14.1$
3 Х18Н9Т	T5K10	8	0.96	72	19	0.82	Вейбулла – Гнеденко $a=23.8$, $b=1.2$
4 Х18Н9Т	T5K10+BO +TiN	8	0.96	72	20	0.54	Вейбулла – Гнеденко $a=31.9$, $b=1.9$
5 90ХФ	T15K6	4	0.8	75	22	0.55	Вейбулла – Гнеденко $a=39$, $b=1.85$
6 90ХФ	T15K6+ TiN+N ⁺	4	0.8	75	18	0.33	Нормальний $T=52.0$ $\sigma=17.1$

Для збереження форми стружкоподріблення більш тривалий час на передню поверхню наносилося зносостійке покриття, застосування якого змінювало характер розподілу стійкості інструменту. Так, при точінні сталі Х18Н9Т коефіцієнт варіації часу появи несприятливої стружки дорівнює 0,7, що не суперечить розподілу Вейбулла – Гнеденко. Застосування інтегрованих технологій нанесення зносостійких покриттів з попереднім шліфуванням і виробленням пластин підвищило стабільність властивостей інструменту, істотно знижуючи коефіцієнт варіації його періоду стійкості. Це призвело до

зміни закону розподілу стійкості Вейбулла – Гнеденко на нормальний (коефіцієнт варіації стійкості 0,28). При цьому зміцнення і нанесення зносостійких покриттів на передню поверхню інструменту оберігає її від зношування, зберігаючи більш тривалий час раціональну геометрію для забезпечення надійного стружкоподріблення. Розподіл часу появи несприятливої стружки при роботі з зміцненими пластинами, як показують експлуатаційні випробування, характеризується меншим розсіюванням і підвищенням середнього періода стійкості інструмента, зниженням коефіцієнта варіації стійкості.

УДК 621.9 (075.8)– 047.58

Ю.М. Кузнєцов, д.т.н., проф.,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ПРОГНОЗИ НА МАЙБУТНЄ ПІСЛЯ ЧЕТВЕРТОЇ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ «ІНДУСТРІЯ 4.0»

Сьогодні, як ніколи, і особливо в умовах коронавірусу, люди почали замислюватися про майбутнє: своє, як особисті, своєї родини, свого колективу, своєї організації, своєї країни і, навіть, всього людства, задаючи питання: «Що нас чекає в недалекому і далекому майбутньому?». Зараз вчених і мислителів турбує філософія майбутнього і навіть його конструювання, що приводить до ефекту емерджентності і створенню несподіваних рішень на рівні винаходів і наукових відкриттів. Це можливо на основі використання системного підходу, застосування теорій еволюційного і генетичного синтезу стосовно складних технічних систем (ТС), що розвиваються в часі [4].

Все, що Людина створює і намагається створити, Природа передбачила в своїх програмах, де закладено основний генетичний принцип «Від простого до складного». Тому «Основним творцем є Природа, а Людина – одне з неперевершених творінь і творець за своєю подібністю» (від автора).

Зараз багато вчених різних країн і в різних сферах діяльності намагаються давати прогнози відносно розвитку техніки і технологій майбутнього, посилюючись на четверту «Індустрія 4.0» і п'яту «Індустрія 5.0» [5,6] промислових революцій.

Ізраїльський вчений Юваль Ной Харарі заявляє, що спостерігаються дві одночасно революції з умовною назвою «Біометричний сенсор»: **перша** – розвиток комп'ютерної науки (розквітання навчання, штучний інтелект); **друга** – розвиток біології (нейробіології), де організм стає алгоритмом. На його думку, революційний процес здійснюється на трьох напрямках: 1 – **біоінженерія** (виращування нових органів, оновлення старих органів,

втручання в організм навіть на генетичному рівні, тобто перепрограмування ДНК); 2 – **радикальний** процес, як комбінація органічного і неорганічного (біонічна рука, комп’ютерний інтерфейс в мозоку Людини, друга імунна система, що створена з мільйонів нанороботів, тощо); 3 – **найбільш радикальний** процес (створення повністю неорганічних форм життя).

На жаль, багато урядів і вчених сприймають скептично ці революційні процеси, ігнорують і зловмисно критикують думки тих, хто намагається зазирнути в майбутнє з врахуванням конвергенції знань і використанням міждисциплінарного підходу у вигляді нано-біо-інфо-когно-соціо-еко (НБІКСЕ) – технологій. Хоча від цього залежить не тільки майбутнє людства, але і життя на планеті **ЗЕМЛЯ**.

Тільки Китай правильно все сприймає і першим буде готовим до викликів нових індустріальних революцій, що вже зараз він демонструє усьому світу і вкладає значні інвестиції в **НАУКУ** і **ОСВІТУ**.

В Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2021-2031 роки [7] нічого не сказано, яку країну ми плануємо будувати, і тільки мимохідь двічі згадано про «Індустрія 4.0» і зовсім, на жаль, немає згадки про «Індустрія 5.0» і міждисциплінарний підхід.

Сьогодні важко уявити людську діяльність без електрики. Тому відкриття генетичної класифікації первинних джерел електромагнітного поля [4] створило умови для постановки принципово нових системних задач, серед яких чільне місце посідають задачі передбачення, яке здійснюється на основі розшифрування і аналізу генетичних програм структуроутворення довільних функціональних класів електромеханічних систем [6].

За результатами досліджень, проведених в КПІ ім. Ігоря Сікорського механіками і електромеханіками, здійснена практична реалізація програми геномних досліджень, яка дозволила відкрити нові функціональні класи об’єктів (рис.1). Це дозволило суттєво зекономити часові й матеріальні ресурси, які традиційно витрачаються на пошук нових оригінальних ідей, інноваційних проектів та технологій. Використання теорії генетичної електромеханіки дозволило здійснювати спрямований генетичний синтез і передбачення верстатів нового покоління без механічних передач, їх моделюванням у вигляді структурних генетичних формул [3].

Процес творчого мислення Людини, як психічний процес відображення об’єктивної реальності (вищий ступінь людського пізнання), пов’язаний з великою кількістю перешкод, оскільки проблема мислення не може мати однозначного тлумачення і охоплює широкий діапазон дій лівої і правої півкулі людського мозку від альтернативно-логічного до інтуїтивно-практичного мислення в їх взаємодії або схрещуванні, що умовно можна віднести до гібридного мислення [2].

На горизонті починає проглядатися нова промислова революція «Індустрія 5.0», яка якісно відрізняється від чотирьох попередніх розвитком людиноцентристських технологій, спрямованих на підсилення фізичних можливостей Людини, його творчого і інтелектуального потенціалу, підвищення якості, продовження життя [8,9]. З’явилася нова концепція:

майбутні технології – це не технології, що заміщують Людину, а технології, що доповнюють Людину.

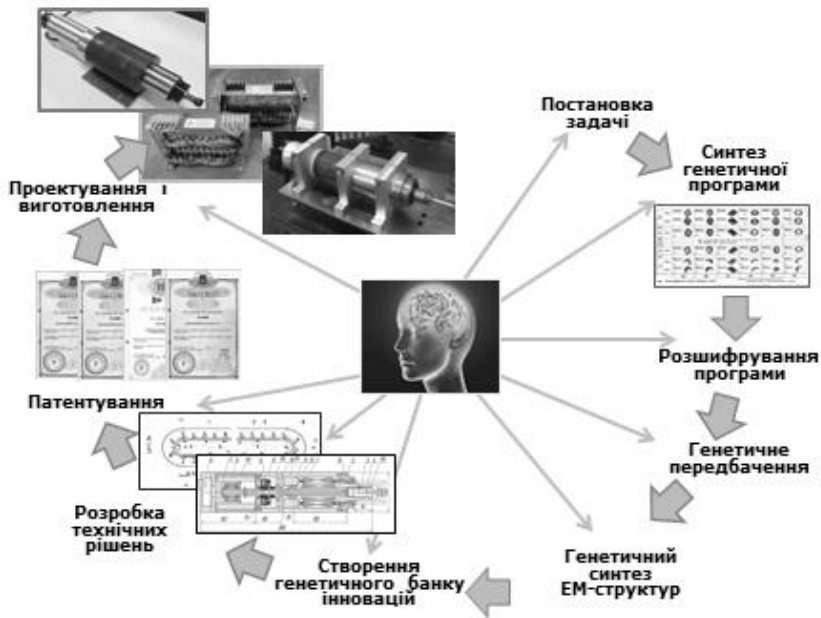


Рис. 1. Перші в світі технічні об'єкти, синтезовані в КПП за результатами розшифрування їх генетичних програм

Вже є новітні технології удосконалення тіла і розуму. З'явилися теорії і технології, спрямовані на довголіття Людини. Майбутнє також за невеликими ядерними реакторами, які дозволять значно знизити викиди вуглекислого газу. Продукти харчування з застосуванням біотехнологій будуть вироблятися не на сільськогосподарських ланах, а в лабораторіях з клітин.

Індустріальні революції в майбутньому приведуть до того, що відношення людей з машинами на виробництві і в звичайному житті перейдуть на новий рівень. Поки ніхто не може стверджувати, як це відобразиться на суспільстві, в діяльності якого з'явиться «Індустрія 5.0».

Літератури:

1. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины // Вестник ХНТУ, №2 (61), 2017.– С. 67–75.
2. Кузнецов Ю.М. Людське мислення і штучний інтелект на прикладі синтезу затискних цангових патронів // 6-я межд. науч.-практ. конф. «Информационные технологии и взаимодействия». КНУ им. Т.Г. Шевченко, 2019. – С. 236–245.
3. Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделя / Шинкаренко В.Ф.,

Кузнецов Ю.Н. // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні технології промислового комплексу». Херсон, ХНТУ, 2015. – С. 8–13.

4.Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

5.<https://www.hse.ru/news/expertise/463569696.html>

6.<http://roboticstoday.ru/industriya-5-0-evolyuciya-ili-revolyuciya/>

7.<https://4esnok.by/obzory-i-rejtingi/budushhee-za-industriey-5-0-i-kommunikacij-s-robotami/>

8.<https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/09/25/rozvitku-vishchoi-osviti-v-ukraini-02-10-2020.pdf>. Стратегія розвитку вищої освіти в Україні 2021-2031 роки, Київ, 2020.

УДК621.09

О.А. Пермяков, д.т.н., проф.,

Н.П. Скидан, ст. викл.,

О.С. Стрелець, асп.,

В.С. Федоренко, асп.,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

НАУКОВИЙ ПІДХІД ВВЕДЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ

Прийняті металорізальні верстати з ЧПУ передаються в Механоскладальні цеху для забезпечення подальшої експлуатації із заповненням паспортів і зазначенням точностних параметрів після перевірки на відповідність норм точності. Паспорт складається на кожну одиницю основного обладнання з відображенням основних технічних даних металорізальних верстатів з ЧПУ.

Точність верстатів ділять на два види: геометричну і кінематичну. Геометрична точність верстата визначається в його ненавантаженому стані. Вона визначається похибками виготовлення і збірки верстата. Кінематична точність залежить від похибок переміщення ланок в кінематичних ланцюгах механізмів верстата, що порушує теоретичні закони рухів інструменту і заготовки при формоутворенні.

Верстати по точності діляться на наступні групи: Н – нормальна; П – підвищена; В – висока; А – особливо висока; З – особливо точні. При переході від групи до групи точність верстатів зростає, приблизно, в 1,58 рази. Допуски на геометричну точність верстатів групи Н складають соті частки міліметра. Зокрема, допускається радіальне биття шпинделя токарних і фрезерних верстатів нормальної групи точності становить 0,01 – 0,015 мм, торцеве – 0,01 – 0,02 мм. Допуск відхилень від прямолінійності та паралельності напрямних токарних і поздовжньо-стругальних верстатів становить на довжині 1000 мм –

0,02 мм. Допуски на геометричну точність особливо точних верстатів менше, приблизно, в 5–6 разів. Відповідно в стільки ж разів зростає вартість верстатів. Точність верстатів з ЧПУ безпосередньо впливає на геометрію оброблених поверхонь. Так, при точінні в центрах в результаті відхилення в горизонтальній площині від співвісності шпинделя і пінолі задньої бабки токарного верстата виникає похибка форми – конусообразність. Тоді замість циліндра виходить усіченого кону). Така ж похибка форми виникає при консольному закріпленні заготовки в трикулачні патроні.

При введенні в експлуатацію системи ЧПУ враховуються система введення і виведення даних – RS232, PCMCIA; межі переміщення (stroke limit); математичні, фізичні одиниці введення і їх дискретність (input unit) мм / дюйми; структура ЧПУ; конфігурація системи ЧПУ; відомості про конфігурацію, що знаходяться в пам'яті системи; програмне забезпечення ЧПУ (параметри, що визначаються користувачем, програми обробки); введення і виведення даних, завантажувальний меню; методика введення / виведення даних ЧПУ інструкція по вводу / виводу даних; прив'язка деталі, установка систем координат і коректорів; діагностика ЧПУ; повідомлення про помилки.

Література:

1. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства /А. Шелковой, А. Ключко, Е. Набока // – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 с.: ISBN-13: 978-3-659-69172-0, ISBN-10: 3659691720.

УДК 621.923

С.В. Рябченко, к.т.н., с.н.с.¹,

В.М. Дергоусов, головний інж.²,

В.В. Нежебовський, к.т.н., заст. головного інж.²,

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України*¹,

*АТ «Світло Шахтаря»*²

ШЛІФУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВУГЛЕДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ

Обробка зубчастих коліс вугледобувних комбайнів є актуальною проблемою виробництва гірничого машинобудування. Підвищити якість обробки зубчастих коліс можливо шляхом застосування ефективних технологій зубошліфування.

Зміст даної роботи полягає у використанні абразивних кругів з рубін-корунду при профільному шліфуванні зубчастих коліс. Шліфування кругами з рубін-корунду дозволяє підвищити точність обробки та знизити висотні параметри шорсткості зубчастих коліс і, тим самим, підвищити надійність і ресурс зубчастих передач. Шліфувальні круги з рубін-корунду мають гарне

самозаточування та дозволяють шліфувати деталі з мінімальним виділенням тепла у зоні різання порівняно із звичайними кругами.

Для досягнення мети роботи виготовлені абразивні круги з рубін-корунду, розроблені технологічні режими обробки, досліджена точність та шорсткість поверхонь зубчастих коліс після обробки. Дослідження виконувались у промислових умовах на підприємстві АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків). Шліфування зубчастих коліс виконувалось на зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. HÖFLER RAPID 1250. Оброблялись зубчасті колеса № P96M.00.05.001: діаметр $d_a = 345$ мм; $z = 41$; $m = 8$; ширина вінця $B = 90$ мм, припуск на обробку $t = 0,66$ мм, число етапів – 4.

Результати дослідження процесу шліфування зубчастих коліс кругом $400 \times 32 \times 127$ з рубін-корунду A8960K9V показали, що потужність зубошліфування складає у середньому значенні $P_{\text{ср}} = 1100$ Вт при напівчистовому (2) етапі та $P_{\text{ср}} = 900$ Вт при чистовому (3) етапі (рис. 1). Точність обробки зубчастого колеса також відповідає 4 ступеню точності.



Рис. 1. Установка шліфувального круга з рубін-корунду на верстаті

Висновки:

Шліфування зубчастих коліс кругами з рубін-корунду дозволяє забезпечити якісні показники профілю зуба приводів шахтних комбайнів у порівнянні з шліфуванням звичайними кругами із білого корунду. Шорсткість профілю зубчастого колеса становить $Ra\ 0,63$.

УДК621.09

Н.С. Равська, д.т.н., проф.¹,

Є.В. Корбут, к.т.н., доц.¹,

О.А. Івановський, к.т.н., доц.¹,

Р.П. Родин, к.т.н., с.н.с.¹,

В.С. Парненко, к.т.н., ст. викл.¹,

О.Ю. Заковоротний, д.т.н., проф.²,

О.О. Ключко, д.т.н., проф.²,

С.П. Сапон, к.т.н., доц.³,

Rolahd Loroch, dr.⁴,

*Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»*¹,

Національний технічний університет

*«Харківський політехнічний інститут»*²,

*Національний університет «Чернігівська політехніка»*³,

*Loroch GmbH, Morlenbach, Germany*⁴

МОДИФІКОВАНИЙ СПРОЩЕНИЙ АЛГОРИТМ МЕТОДУ ГРУПОВОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ В ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСАМИ

Ефективність будь-якого процесу залежить від управління процесами. Імітаційне моделювання в ідкриває широкі можливості оптимального управління ними і забезпечує побудову моделей, описуючих діючий процес.

Серед різноманітності видів імітаційного моделювання систем і методів заслуговують методи, засновані на теорії евристичної самоорганізації. Теорія самоорганізації базується на принципах самоорганізації і масової селекції [1, 2, 3] та реалізується в алгоритмах методу групового врахування аргументів (МГВА).

Існує багато видів алгоритмів МГВА, проте всі вони характеризуються структурною спільністю на принципі самоорганізації, який в алгоритмах МГВА реалізується наступними основними положеннями:

- принцип зовнішнього доповнення;
- Геделевський підхід при самоорганізації моделей; - зовнішні критерії селекції;
- розподіл таблиці експериментальних даних на дві частини;
- гіпотеза селекції; - принцип збереження свободи вибору;
- застосування евристичних методів;
- одночасне моделювання на рівній спільності мови математичного моделювання.

Самоорганізація потребує незначних вимог до апріорної інформації, щоб здійснити перебір безкінечно великої кількості варіантів.

Для цього достатньо невеликого числа експериментів і формулювання цілей досліджень. Розглянемо побудову алгоритмів МГВА на прикладі модифікованого спрощеного алгоритму МГВА.

Перевагою алгоритму в порівнянні з іншими алгоритмами цього класу є:

1) Наявність можливостей розширення вектора вихідних даних, що приводить до спрощення розрахунків та одержання більш точного математичного опису. Крім того, ця особливість дозволяє більш повно враховувати накопичений досвід, заздалегідь задаючи найбільш вірогідний масштабний простір, в якому здійснюють пошук математичної моделі.

2) Наявність апарату для усунення колінеарності – прийому ортогоналізації. Даний прийом спрощує вид опису, зводить рішення системи рівнянь Гауса (для визначення коефіцієнтів) до розрахунку оцінки одного коефіцієнта, дозволяє використовувати неоптимальні статистичні плани і дані пасивного експерименту.

Основна структура спрощеного модифікованого алгоритму МГВА характеризується наступними блоками:

- попередня обробка спостережень з врахуванням системи вибраних опорних функцій;
- розрахунок претендентів селекції – зовнішніх доповнень та вибір моделі оптимальної складності.

Після попередньої обробки наступним кроком алгоритму є розподіл даних на навчальну та перевірочну послідовності. Число експериментальних точок залежить від кількості змінних, за якими будується модель. Для одержання експериментальних точок необхідно на одну змінну провести 5–6 дослідів. В межах вибраних границь зміни досліджуваних факторів, кожний з них розбивається на 5 рівнів, з яких формується інформаційна матриця.

У спрощеному алгоритмі МГВА здійснюється однаковий по кількості експериментальних точок поділ на навчальну та перевірочну послідовності. В даному алгоритмі критерієм вибору найбільш перспективних описів моделі даного ряду для роботи наступного використовується коефіцієнт зміщення [3]. Перевірочна послідовність служить для пошуку структури моделі, а навчальна – коефіцієнтів. Процедура вибору на кожному ряді змінних є основною при будові моделей, здатних відображати фізичну сутність досліджуваних процесів. Ця процедура спрямована на вибір групи (Γ штук) «перспективних рішень» з окремих описів на кожному ряду селекції. Структура моделі визначається за критерієм коефіцієнта зміщення.

Оптимальна складність – за критерієм середньо квадратичної похибки (похибка апроксимації) на всій послідовності зупинка селекції здійснюється за мінімумом цієї похибки. В результаті роботи алгоритму одержують моделі здатні управляти процесом з врахуванням явищ, що супроводжують певний процес.

Наводиться приклад моделювання процесу свердління волокнистих полімерних композиційних матеріалів інструментом з дискретним покриттям глобулярної структури нанесеним електроіскровим способом. В останній час для управління технологічними процесами використовують штучні нейронні мережі (ШНМ), які являють собою математичні моделі з їх програмним апаратним комплексом [5].

Слід зазначити, що побудова моделей ШНМ базується на теорії евристичної самоорганізації. В зв'язку з цим виникає можливість на основі моделей, одержаних з використанням алгоритмів МГВА створювати ШНМ з включенням цих моделей в мережу і подальшою корекцією системи управління. Так, враховуючи спільність основних положень теорії самоорганізації ШНМ та МГВА, до змінних мережі додати модель в якості змінної Z. В результаті одержимо нейронну мережу, яка списує фізичні явища, що супроводжують процес. Це дозволить значно підвищити ефективність та точність управління процесом.

Література:

1. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике / А.Г. Ивахненко. – К.: Техніка, 1971. – 372 с.
2. Ковалева Л.И. Основные положения алгоритма для моделирования процесса резания с учетом физических явлений, его сопровождающих. / Ковалева Л.И. Дюбнер Л.Г., Скрынник П.В., // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. ДДМА. – 2004. – №15. – с.241–246.
3. Равская Н.С. Применение методов самоорганизации для идентификации процессов и объектов/ Н.С. Равская, Л.И. Ковалева // Lucrarile stiintifice all simpozion lui international, Universitario Ropet. – 2002. Inginerie Mecanica, Petrosani, Focus.
4. Джимми У.Ки. Искусственные нейронные сети управления технологическими процессами. Часть 1, Control Engineering, – №3 (63). – 2016. – С. 62–66.
5. Равская Н.С. Нейронные сети, учитывающие физические явления, сопровождающие процесс резания / Н.С. Равская, А.А. Клочко, А.Ю. Заковоротный, Е.В. Корбут, Р. П. Родин // Mechanics and Advanced Technologies. – № 2 (89), 2020. – С. 155–162.

УДК621.09

В.Д. Ковальов, д.т.н., проф.¹,
Я.В. Васильченко, д.т.н., проф.¹,
О.А. Охріменко, д.т.н., доц.²,
Б.С. Воронцов, д.т.н., доц.²,
М.І. Гасаново, д.т.н., проф.³,
О.О. Ключко, д.т.н., проф.³,
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*¹,
*Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»*²,
Національний технічний університет
*«Харківський політехнічний інститут»*³

ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЗУБООБРОБКИ КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Задачі моделювання процесів оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності зубообробки крупногабаритних зубчастих коліс пропонується вирішувати методами впливу з урахуванням специфічних умов формоутворення зубчастих коліс [1, 2]. Аналіз причин виходу з ладу зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс показав, що в 90 % руйнування крупногабаритних зубчастих коліс починається з поверхневого шару через появу мікротріщин, абразивного зносу, викришування активних поверхонь зубів, відшаровування поверхневого шару зубів, прогресуючого заїдання, пластичних деформацій зубів [3].

При зубофрезеруванні евольвентної поверхні зубчастого колеса переміщення ріжучого леза інструмента з початкового положення в кінцеве положення під дією керуючих впливів може бути здійснено за різними траєкторіями в рамках техніко–економічних обмежень. Кожній траєкторії відповідає певне значення критерію оптимальності. Геометрія проєктованої передачі визначається параметрами початкового контуру інструмента і його зміщеннями при нарізанні коліс передачі. Тому при проєктуванні, перш за все, слід задати початковий виробляючий контур інструменту і вибрати розрахункові зміщення. Якщо циліндричне зубчасте колесо нарізається рейковим інструментом, то верстатне зачеплення розглядають в торцевій площині, перпендикулярній осі зубчастого колеса. Таке зачеплення є зачепленням рейкового початкового виробляючого контуру з колесом, що нарізується.

Задача оптимального управління процесом зубообробки крупномодульних зубчастих коліс диференційно апроксимується на два етапи:

перший пов'язаний з обґрунтуванням вибору значень параметрів режиму різання, що задовольняють заданому критерію якості, параметрів формування товщини зрізаного шару (глибини різання); другий передбачає управління режимами різання з метою підтримки оптимального значення показника критерію якості в умовах дії на процес збурюючих впливів.

Для управління параметрами зубообробки зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс з урахуванням режимів різання, розрахункових параметрів ріжучого леза, радіуса округлення різальної крайки, розрахункових параметрів коефіцієнта усадки стружки в І блоці, розрахункових зусиль різання і пластичних деформацій в зоні обробки, розрахунку залишкових напруг і глибини наклепу, температур, швидкостей зносу різальних крайок зуба фрези в зоні обробки в ІІ блоці і розрахунку стану параметрів шорсткості обробленої поверхні зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс розроблений алгоритм багатокритеріальної оптимізації формоутворення зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс.

У тому випадку, коли основними показниками оцінки режимів різання є забезпечення точності обробки та якості поверхневого шару, як критерій оцінки процесу використовують коефіцієнт функціонального формування поверхневого шару – K_p .

Період стійкості (T) інструменту визначається глибиною різання t , подачею S_0 , швидкістю V і радіусом округлення різальної крайки зубів фрези ρ , тобто параметрами режиму різання і умовами формування з урахуванням параметра функціонального формування поверхневого шару

при зубофрезеруванні $K_p = f(\alpha/\rho, R_z, t_m(k), H, \mu_0, \sigma_0, h, H, \mu)$ і оброблюваності матеріалу C_v .

Враховуючи, що зустрічне зубофрезерування нестабільне через переривчастого характеру різання, товщини зрізаного шару (a_i), що постійно змінюється, зі зміною кута ковзання ($\psi_{ков}$) товщина шару, що знімається, виходить змінною по перетину зрізу [4].

Товщина шару, що зрізається після

$$a_i = S_z \cdot \sin \psi_{ков} \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

де S_z – подача на зуб; φ – кут профілю зуба фрези в нормальному перерізі

Мінімальні значення кутів ковзання без мастильно–охолоджуючої рідини (МОР):

$$\psi_{ков} = \arcsin \frac{0,5 \cdot \rho}{S_z \cdot \sin \varphi} \quad (2)$$

Мінімальні значення кутів ковзання із застосуванням МОР:

$$\psi_{ков} = \arcsin \frac{0,31 \cdot \rho}{S_z \cdot \sin \varphi} \quad (3)$$

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють визначити оптимальні кути ковзання $\psi_{ков}$, при яких забезпечуються стабільність процесу зубофрезерування, необхідні умови по стійкості інструмента і якість оброблюваної поверхні по відношенню до найбільшого куту контакту зуба фрези ψ_{max} з оброблюваним зубчастим виробом при найвищій продуктивності.

Література:

1. Гасанов М.И., Ключко А.А., Черкашина Г.И., Перминов Е.В Групповые маршрутные технологические процессы восстановления крупногабаритных зубчатых колес на основе имитационного моделирования с учетом прогрессирующих видов износа // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – Вип. 42. – С. 28–36.
2. Гасанов М.І., Пермяков О.А.1, Шелковий О.М., Ключко О.О., Набока О.В., Охрименко О.А. Функціональний аналіз процесу експлуатації і пов'язані з ними проблеми відновлення експлуатаційних властивостей крупномодульних зубчастих коліс / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 43–44.
3. Kovalov, V.D.; Vasilchenko, Y.V.; Klochko, A.A. & Gasanov, M.I.: Chapter 10: Technology of restoration of large gear boxes. In: Modern Manufacturing Processes and Systems, Vol.2: Fundamentals. Vrnjačka Banja (Serbia): SaTCIP Publisher Ltd. & Belgrade (Serbia): Faculty of Information Technology and Engineering (FITI), 2020, pp. 223–246.
4. Беловол А.В., Гасанов М.І., Ключко О.О., Набока О.В., Скоркин А.О., Шелковой О.М. Імітаційне моделювання в задачах машинобудівного виробництва: навч. пос. / за ред. О.М.Шелкового. – Харків: НТУ «ХПИ», 2019. – 500 с. ISBN 978-617-05-0284-1.

УДК621.09

М.В. Шаповалов, к.т.н., доц.,

Я.С. Антоненко, к.т.н., доц.,

М.С. Сиволап, маг.,

Донбасская государственная машиностроительная академия

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатые колеса являются, в настоящее время, основными элементами многих приводных механизмов, в которых требуется осуществить передачу при определенных скоростных и силовых условиях. Непрерывно повышаются требования по обеспечению качества обработки зубчатых колес. Кроме высокой надежности, долговечности и точности высокие требования предъявляются к свойствам и характеристикам поверхностного слоя зубьев зубчатых колес, формирующимся на окончательных этапах их изготовления [1, 2].

Разрабатываются новые методы обработки зубчатых венцов, совершенствуются уже существующие методы, а также внедряются в производство новое оборудование и материалы с тем, чтобы в результате обработки получить соответственно сформированное состояние поверхностного слоя зубчатых колес в зависимости от эксплуатационных нагрузок. Поэтому значительно повышается интерес к окончательной обработке зубчатых колес, в том числе, особенно к шлифованию зубьев. Однако, к сожалению, необходимо учитывать тот факт, что серьезной проблемой в формировании поверхностного слоя зубьев зубчатых колес во время реализации технологического процесса является недостаточность исследований, характеризующих изменение этого состояния в различных процессах обработки, особенно на окончательных её этапах. В связи с этим, понятным является факт целесообразности проведения таких исследований, тем более что на формирование поверхностного слоя, например, во время шлифования, влияет значительное количество факторов, а состояние этого слоя подвергается постоянным изменениям. Поэтому трудно определить обобщающую характеристику поверхностного слоя для данного материала в зависимости от вида обработки, инструмента, условий обработки и т.п. [3, 4, 5].

С одной стороны, проводятся исследования по формированию конкретного слоя после различных технологических процессов, способов обработки и изготовления, с другой же стороны, возникает вопрос, в какой мере проведенные до настоящего времени исследования позволяют рассчитывать на получение требуемых свойств и характеристик состояния поверхностного слоя. Проблема получения (обеспечения) требуемого качества поверхности, которое определяется состоянием поверхностного слоя, является сложной, так как формирующийся в технологическом процессе указанный слой не изменяется сознательно, целенаправленно (управляемо) главным образом потому, что этот процесс имеет случайный характер, а кроме этого, является динамичным. Не всегда также известно влияние многочисленных факторов, влияющих на формирование этого слоя. Кроме того, исследуемые свойства не всегда соответствуют тем, которые требуются по условиям эксплуатации и отличаются от свойств, ожидаемых потребителем. Не совсем также ясно, какими характеристиками качества должен обладать поверхностный слой, чтобы его стабильность во время контакта совместно работающих элементов была постоянна и оптимальной.

Шлифование позволяет достигать заданную конструктором точность зубьев зубчатого колеса, гарантируя одновременно высокое качество зубчатого венца, что не означает, что этот процесс также одновременно способствует достижению требуемого состояния поверхностного слоя. Это связано с наличием во время реализации процесса шлифования многочисленных факторов, оказывающих влияние на формирование свойств и характеристик поверхностного слоя. Следует отметить, что речь идет, прежде всего, о таких зубчатых колесах, которые подвергались термической или термохимической обработке, и имели твердость свыше 30HRC. Поэтому процесс шлифования должен осуществляться таким образом, чтобы не произошел, прежде всего,

отпуск шлифованных поверхностей, отсутствовали прижоги, сохранялась высокая микротвердость поверхностного слоя и т.п. Следует заметить, это изменение состояния поверхностного слоя в процессе любого технологического воздействия зависит не только от условий осуществления самого процесса, но и от конструктивных особенностей детали (зубчатого колеса), которые совместно с последующей обработкой определяют формирование состояния поверхностного слоя готовой детали. Поэтому предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес определяются прежде всего в локализации температуры в зоне контактирования абразивного шлифовального круга и эвольвентной поверхности зубчатого колеса за счет придания процессу скоростного зубофрезерования. Исследование процесса комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес наряду с повышением производительности зубошлифования обеспечивает стабилизацию поверхностного слоя зуба зубчатого колеса в направлении уменьшения температуры в зоне обработки, повышению стойкости шлифовального круга, уменьшению числа правок, уменьшению засаливания кругов.

Процесс формирования требуемого, по условиям эксплуатации, состояния поверхностного слоя зуба зубчатого колеса рассматривается в аспекте комплексного воздействия конструктивных и технологических факторов, определяющих, в конечном счете, долговечность высокоскоростных, высокоточных цилиндрических зубчатых колес 5-6 степени точности по ГОСТ 1643–81.

Література:

1. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства /А. Шелковой, А. Ключко, Е. Набока // – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 с.: ил. На русском языке. ISBN-13: 978-3-659-69172-0, ISBN-10: 3659691720, EAN:9783659691720;
2. Методология разработки модели управления точностью, качеством и производительностью формообразования при обработке закаленных крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев, А. Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Ключко // Сборник научных трудов “Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении: сборник научных трудов [Текст] / Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное общество «ОНИКС». – Краматорск: ДГМА, Ирбит: ЗАО «ОНИКС», Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю.М. Соломенцев). 2014. – С. 96–117.;
3. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 2: учеб. пособие / А.В. Беловол, А.А. Ключко, Е.В. Набока, А.О. Скоркин, А.Н. Шелковой. под редакцией А.Н. Шелкового // □ Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 323 с.
4. Мироненко Е. В. Создание современной инфраструктуры оснащения станков с ЧПУ сборным модульным инструментом / Е. В. Мироненко, А. А. Ключко //Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку:

матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф., 5–8 червня 2006 р. / за загал. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 72.;

5. Мироненко Е. В. Исследование влияния некоторых конструктивных параметров агрегатно-модульных резцов на прочность и износостойкость /Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, О. Я. Белицкая //Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2004. – Вып. 16. – С. 13–17.

УДК621.09

**О.А. Анцыферова, к.т.н.,
Е.П. Старченко, асп.,
М.С. Максименков, маг.,
Е.В. Федоров, маг.,**

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатые колеса являются, в настоящее время, основными элементами многих приводных механизмов, в которых требуется осуществить передачу при определенных скоростных и силовых условиях. Непрерывно повышаются требования по обеспечению качества обработки зубчатых колес. Кроме высокой надежности, долговечности и точности высокие требования предъявляются к свойствам и характеристикам поверхностного слоя зубьев зубчатых колес, формирующимся на окончательных этапах их изготовления [1, 2].

Разрабатываются новые методы обработки зубчатых венцов, совершенствуются уже существующие методы, а также внедряются в производство новое оборудование и материалы с тем, чтобы в результате обработки получить соответственно сформированное состояние поверхностного слоя зубчатых колес в зависимости от эксплуатационных нагрузок. Поэтому значительно повышается интерес к окончательной обработке зубчатых колес, в том числе, особенно к шлифованию зубьев. Однако, к сожалению, необходимо учитывать тот факт, что серьезной проблемой в формировании поверхностного слоя зубьев зубчатых колес во время реализации технологического процесса является недостаточность исследований, характеризующих изменение этого состояния в различных процессах обработки, особенно на окончательных её этапах. В связи с этим, понятным является факт целесообразности проведения таких исследований, тем более что на формирование поверхностного слоя, например, во время

шлифования, влияет значительное количество факторов, а состояние этого слоя подвергается постоянным изменениям. Поэтому трудно определить обобщающую характеристику поверхностного слоя для данного материала в зависимости от вида обработки, инструмента, условий обработки и т.п. [3, 4, 5].

С одной стороны, проводятся исследования по формированию конкретного слоя после различных технологических процессов, способов обработки и изготовления, с другой же стороны, возникает вопрос, в какой мере проведенные до настоящего времени исследования позволяют рассчитывать на получение требуемых свойств и характеристик состояния поверхностного слоя. Проблема получения (обеспечения) требуемого качества поверхности, которое определяется состоянием поверхностного слоя, является сложной, так как формирующийся в технологическом процессе указанный слой не изменяется сознательно, целенаправленно (управляемо) главным образом потому, что этот процесс имеет случайный характер, а кроме этого, является динамичным. Не всегда также известно влияние многочисленных факторов, влияющих на формирование этого слоя. Кроме того, исследуемые свойства не всегда соответствуют тем, которые требуются по условиям эксплуатации и отличаются от свойств, ожидаемых потребителем. Не совсем также ясно, какими характеристиками качества должен обладать поверхностный слой, чтобы его стабильность во время контакта совместно работающих элементов была постоянна и оптимальной.

Шлифование позволяет достигать заданную конструктором точность зубьев зубчатого колеса, гарантируя одновременно высокое качество зубчатого венца, что не означает, что этот процесс также одновременно способствует достижению требуемого состояния поверхностного слоя. Это связано с наличием во время реализации процесса шлифования многочисленных факторов, оказывающих влияние на формирование свойств и характеристик поверхностного слоя. Следует отметить, что речь идет, прежде всего, о таких зубчатых колесах, которые подвергались термической или термохимической обработке, и имели твердость свыше 30HRC. Поэтому процесс шлифования должен осуществляться таким образом, чтобы не произошел, прежде всего, отпуск шлифованных поверхностей, отсутствовали прижоги, сохранялась высокая микротвердость поверхностного слоя и т.п. Следует заметить, это изменение состояния поверхностного слоя в процессе любого технологического воздействия зависит не только от условий осуществления самого процесса, но и от конструктивных особенностей детали (зубчатого колеса), которые совместно с последующей обработкой определяют формирование состояния поверхностного слоя готовой детали. Поэтому предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес определяются прежде всего в локализации температуры в зоне контактирования абразивного шлифовального круга и эвольвентной поверхности зубчатого колеса за счет придания процессу скоростного зубофрезерования. Исследование процесса комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес наряду с повышением производительности зубошлифования обеспечивает стабилизацию

поверхностного слоя зуба зубчатого колеса в направлении уменьшения температуры в зоне обработке, повышению стойкости шлифовального круга, уменьшению числа правок, уменьшению засаливания кругов.

Процесс формирования требуемого, по условиям эксплуатации, состояния поверхностного слоя зуба зубчатого колеса рассматривается в аспекте комплексного воздействия конструктивных и технологических факторов, определяющих, в конечном счете, долговечность высокоскоростных, высокоточных цилиндрических зубчатых колес 5–6 степени точности по ГОСТ 1643-81.

Література:

1. Степанов М. С., Ключко А. А., Анцыферова О. О., Новиков Ф. В., Палашек С. Ю. Условия управления структурными превращениями при зубошлифовании. Новые и нетрадиционные технологии в ресурс- и энергосбережении (Материалы международной научно-технической конференции, 26–29 сентября 2018 года, г. Одесса). – С. 177–179.
2. Новіков Ф.В., Сізий Ю.А., Ключко О.О., Черкашина Г.І., Анциферова О.О. Моделювання та аналіз імпульсного зубошліфування в пакеті "VISSIM" // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 29 – 31 травня 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 66.
3. Kovalov, V.D.; Vasilchenko, Y.V.; Klochko, A.A. & Gasanov, M.I.: Chapter 10: Technology of restoration of large gear boxes. In: Modern Manufacturing Processes and Systems, Vol.2: Fundamentals. Vrnjačka Banja (Serbia): SaTCIP Publisher Ltd. & Belgrade (Serbia): Faculty of Information Technology and Engineering (FITI), 2020, pp. 223–246.
4. Шаповалов В.Ф., Печеный В.И., Ключко А.А., Пермиков А.А., Шелковой А.Н., Гасанов М.И., Анцыферова О.А. Повышение качества поверхностного слоя зубьев изношенных и восстанавливаемых крупногабаритных зубчатых колес поверхностным пластическим деформированием // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – Вип. 42. – С. 91–102.
5. Kamchatna – Stepanova K. Methodology for the development of a model for managing the quality and productivity of shaping when processing hardened coarse-modular gears. / V. Kovalov, Y. Vasylichenko, M. Shapovalov, O. Antsyferova, K. Kamchatna - Stepanova // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тези сьомої міжнародної науково-технічної конференції (17 - 19 листопада 2020 р.). Харків - Краматорськ – Харків, НТУ «ХПІ», 2020. – С. 36–38.

УДК621.23

Е.В. Мироненко, д.т.н., проф.¹,

Г.П. Клименко, д.т.н., проф.¹,

А.С. Манохин, к.т.н., с.н.с.²,

О.А. Охрименко, д.т.н., доц.³,

Е.В. Камчатная-Степанова, асп.⁴,

*Донбасская государственная машиностроительная академия*¹,

*Институт сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины*²,

*Национальный технический университет Украины «КПИ им. И. Сикорского»*³,

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*⁴

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПОЛЯ РЕЗАНИЯ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ С РАЗДЕЛЬНОЙ СХемой ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Физическая сущность, сопровождающая процесс резания червячной фрезой с раздельной схемой формообразования, такие как неравномерность загрузки и стойкость зубьев фрезы, путь резания и характер распределения износа зубьев, неравномерность процесса резания, динамические нагрузки при встречном зубофрезеровании исследуем с помощью контактных полей резания фрезы и заготовки [1, 2, 3, 4].

Контактное поле резания *ABCD* (рис. 1) правого корпуса фрезы при встречном фрезеровании прямозубого колеса, построенное специально разработанным графическим способом, представляет собой развертку на плоскость обработанной поверхности зуба колеса со следами на ней профилирующих точек зубьев инструмента. Зубья, число которых сокращено для ясности графического построения, пронумерованы в порядке их вступления в резание по линии зацепления.

Графическое построение контактного поля и дальнейший вывод формул длин срезаемых слоев основаны на приближенном определении проекций дуг контакта l_i каждого из зубьев фрезы с припуском как отрезков прямых (рис. 1), при повороте фрезы от зуба к зубу на угол $\varphi_i = \frac{360^\circ}{Z_\Phi}$. Погрешность определения параметров по предлагаемым формулам не превышает 1%, что вполне приемлемо для практических выводов.

Кривая *CD* основание контактного поля – геометрическое место точек выхода зубьев инструмента из припуска *A*, имеющего неравномерный характер распределения вдоль эвольвентной поверхности зуба после черновой прорезки впадин специальными дисковыми фрезами.

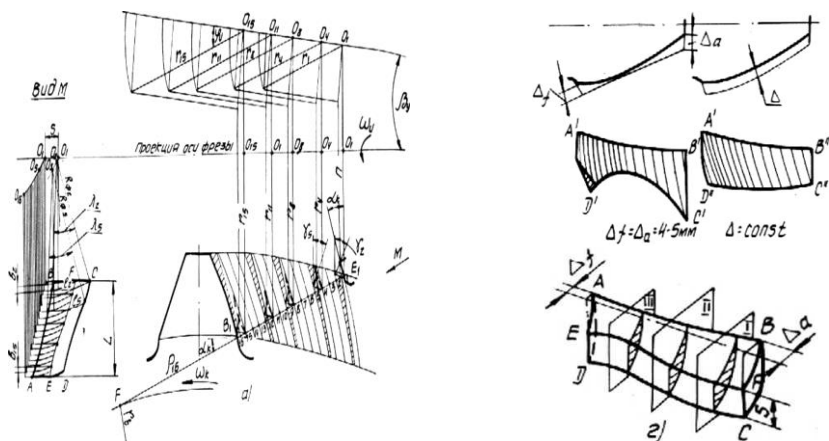


Рис. 1. Контактное поле резания правого корпуса червячной фрезы с раздельной схемой резания: а – графический способ построения контактного поля; б, в – форма контактного поля в зависимости от характера распределения припуска; г – объем металла, срезаемый за один оборот корпуса фрезы

Ширина срезаемого слоя равна сумме переменных по длине рабочих участков a_i и b_i кромки (рис. 2, б) и постоянных по длине рабочих участков c и d (рис. 2, а). Таким образом, ширина стружек, срезаемых зубьями правозаходной фрезы, определяется по формулам:

для левого корпуса:

$$b_{i,l} = a_i + d = \left[r_b \left(tg \alpha + tg \frac{\psi}{2} \right) - \frac{P_b}{Z_\phi} (i - 1) \right] tg(\psi - \mu) + d \quad (1)$$

для правого корпуса:

$$b_{i,r} = b_i + c = \left[r_b \left(tg \alpha + tg \frac{\psi}{2} \right) - \frac{P_b}{Z_\phi} (i - 1) \right] tg(\mu) + c \quad (2)$$

Для левозаходной фрезы формулы (1) и (2) меняются местами.

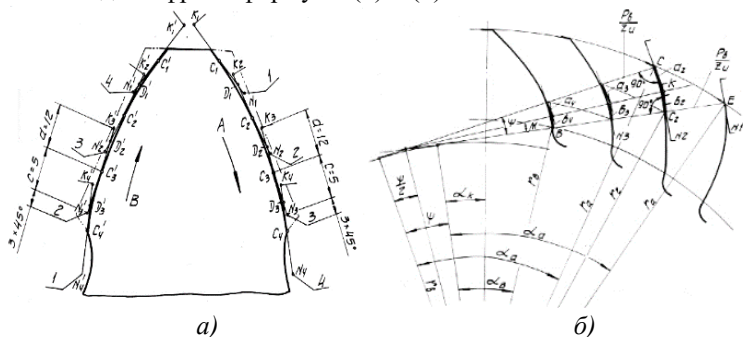


Рис. 2. Определение ширины срезаемых слоев: а – схема последовательного наложения кромок фрезы на профиль зубьев колеса; б – рабочие участки кромок расположенные выше (b_i) и ниже (a_i) точек профилирования

На (рис. 3, б, г) показаны недеформированные слои, срезаемые зубьями обеих корпусов правозаходной фрезы с раздельной схемой формообразования. Обработка правой боковой поверхности зуба колеса (рис. 2, а) и (рис. 3, а) правым корпусом фрезы (ПК) осуществляется в направлении по стрелке А от головки зуба к ножке. Зубья корпуса, из-за сравнительно небольшой длины участков кромок С (рис. 2, а) и отсутствия перекрытия резов на выходе из припуска, образуют уступы у. При последующих резах через один оборот колеса на срезаемых слоях (рис. 3, б) образуются выступы Р. Эти выступы, служащие как бы ребрами жесткости, затрудняют процесс деформирования металла слоев, что может способствовать повышению температуры резания.

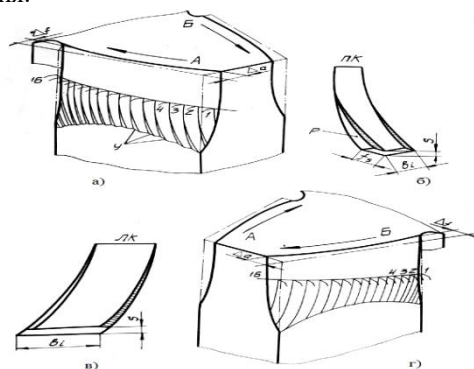


Рис. 3. Форма слоев, срезаемых зубьями правозаходной фрезы с раздельной схемой формообразования: а - образование уступов (У) при работе правого корпуса; б - форма слоя, срезаемого зубьями правого корпуса; в - схема обработки поверхности зуба левым корпусом; г - форма слоя срезаемого зубьями левого корпуса

Зубья левого корпуса (рис. 3, в), вступающие в резание по стрелке Б, не образуют уступов на выходе из припуска. Перекрытие резов не нарушается, т.к. участки кромок d (см.рис.2, а) имеют в 2,5 раза большую длину, чем участки С. Поэтому слои, срезаемые зубьями левого корпуса более благоприятны по форме, чем у правого корпуса. Форма срезаемых слоев, как известно, оказывает влияние на температуру резания. Можно предположить, в этой связи, что зубья правого корпуса, срезающие слои более сложной формы, будут иметь и больший, по сравнению с зубьями левого корпуса, износ.

Для более полного понимания процесса обработки зубьев червячной фрезой необходимо изучить, как выполняется работа резания каждым из ее зубьев в контактном поле резания, т.е. установить характер врезания зубьев фрезы в металл заготовки. Известно, что характер врезания зубьев червячной фрезы оказывает заметное влияние, как на стойкость инструмента, так и на качество обработанной поверхности. Анализ процесса врезания зубьев выполняется при рассмотрении траектории движения какой-либо точки режущей кромки каждого из них в кинематике взаимных движений инструмента и заготовки

Література:

1. Гасанов М.И., Ключко А.А., Черкашина Г.И., Перминов Е.В Групповые маршрутные технологические процессы восстановления крупногабаритных зубчатых колес на основе имитационного моделирования с учетом прогрессирующих видов износа // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – Вип. 42. – С. 28–36.
2. Гасанов М.І., Пермяков О.А.1, Шелковий О.М., Ключко О.О., Набока О.В., Охрименко О.А. Функціональний аналіз процесу експлуатації і пов'язані з ними проблеми відновлення експлуатаційних властивостей крупномодульних зубчастих коліс / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 43–44.
3. Kovalov, V.D.; Vasilchenko, Y.V.; Klochko, A.A. & Gasanov, M.I.: Chapter 10: Technology of restoration of large gear boxes. In: Modern Manufacturing Processes and Systems, Vol.2: Fundamentals. Vrnjačka Banja (Serbia): SaTCIP Publisher Ltd. & Belgrade (Serbia): Faculty of Information Technology and Engineering (FITI), 2020, pp. 223–246.
4. Технологическое обеспечение эксплуатационных параметров цилиндрических зубчатых передач при аппроксимативном решении контактно-гидродинамических задач смазки // В.Д. Ковалев, Ю.В. Тимофеев, А.Н. Шелковой, А.А. Ключко, Д.А. Кравченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – № 4 (1113). – С. 11–19. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-004X.

УДК 621.91

П.А. Аксьом, к.т.н.,
Е.К. Посвятенко, д.т.н., проф.,
Н.І. Посвятенко, к.т.н., доц.,
Національний транспортний університет

КОМПЛЕКСНИЙ ПРОЦЕС ПОЛІПШЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

Теоретичні засади дослідження показали, що у зоні низьких та середніх швидкостей різання, характерних для обробки складним інструментом із швидкокорізальної сталі (протягування, фрезерування, нарізання різьби та зубців шестерень, довбання тощо), факторами сильного впливу на оброблюваність аустенітних сталей є попередня обробка останніх холодним пластичним

деформуванням (ХПД) та введення у зону різання рослинних мастильно-охолоджувальних рідин (МОР). Дещо слабше діє на процес швидкість різання, а інші фактори, у тому числі і передній кут інструменту, майже не впливають на оброблюваність у діапазоні досліджуваних факторів.

Роль попереднього ХПД полягає у тому, що при проведенні процесу виконується частина роботи, яку мала б виконати обробка різанням недеформованої аустенітної сталі. Використання середовища рослинного походження поліпшує контактні процеси на передній поверхні інструменту. В результаті спостерігається подвійний позитивний ефект: з боку зони стружкоутворення через попереднє об'ємне ХПД, а з боку контактної зони – через ефективне екологічно чисте рослинне середовище.

У дослідженні використовувались зразки із наступних марок аустенітних сталей: 08X18H10 (AISI 304); 12X15Г9НД (AISI 201); 110Г13Л (A128) та контрольної нержавіючої сталі феритного класу 40X13 (AISI 420). Холодне деформування з деформаціями зразків до 90% здійснювалось на гідравлічному пресі моделі ПММ–200 з використанням методу поперечного стиску.

Вивчення теорії обробки матеріалів різанням показало, що об'єктивно можна судити про оброблюваність того чи іншого матеріалу по коефіцієнту усадки стружки ξ і повній довжині контакту останньої c з передньою поверхнею інструменту. При цьому зменшення величини цих факторів однозначно свідчить про поліпшення оброблюваності матеріалу різанням.

Для вивчення сумісного впливу деформаційного зміцнення і екологічно чистих МОР на оброблюваність аустенітних сталей характерних марок була проведена серія експериментів за схемою вільного прямокутного різання. Геометричні параметри різця зі сталі Р6М5 були наступними: ширина 10 мм, передній кут 15° , задній кут 6° , радіус округлення різальної кромки – 10 мкм. Швидкість різання – 26,5 м/год. Товщина зрізуваного шару 0,02 – 0,03 мм.

Експерименти по визначенню оптимальної марки МОР включали дослідження впливу сульфобрезолу Р, ріпакової та соняшникової олій, а також олії льону на величини ξ та c при різанні незміцнених та зміцнених деформацією сталей.

Порівняння олій з традиційним для процесів різання сульфобрезолом Р дало наступні результати. Сумісна дія ХПД і середовища при різанні аустенітної сталі 12X15Г9НД знижує коефіцієнт усадки стружки на 25%, а повної довжини контакту – на 34%. При обробці аустенітної сталі 08X18H10 ці показники відповідно такі: зниження ξ на 24%, а c – на 34%. Обробка зносостійкої аустенітної сталі 110Г13Л характеризується наступними результатами: зменшення коефіцієнта усадки стружки на 16%, а повної довжини контакту – на 22%. Різання контрольної марки феритної нержавіючої сталі 40X13 також показало поліпшення оброблюваності: ξ на 21% і c на 29%.

Отже, попереднє ХПД у поєднанні з використанням МОР на рослинній основі є потужним засобом поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей. Керуючись вартістю олій, вибрано найдешевшу – ріпакову.

Проведено серію точних експериментів із застосуванням електронної мікроскопії за допомогою мікроскопа РЕМ–106И. Метою цих експериментів

було виявлення впливу об'ємного ХПД на густину дислокацій у аустенітних сталях. Установлено, що густина дислокацій ρ в результаті обробки зразків об'ємним ХПД збільшується приблизно у 4 рази. Скупчення дислокацій служить основою для формування мікротріщин у матеріалі, що сприяє поліпшенню оброблюваності різанням аустенітних сталей.

Поліпшення оброблюваності аустенітних сталей відбувається також завдяки частковим перетворенням аустеніту в мартенсит, тобто набуття парамагнітною сталлю феромагнітних властивостей. Визначення фазового складу при аустенітно-мартенситних перетвореннях, викликаних дією ХПД, проводилось з використанням рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV.

Метод аналізу – рентгеноструктурний фазовий. Дослідження зразків проведено в мідному випромінюванні ($\text{Cu}_{\text{K}\alpha} = 0,15418 \text{ нм}$). Напруга – 30 кВ; сила струму – 30 мА; ширина щілини, яка обмежує рентгенівський промінь – 10 мм. Для дослідження використано схему фокусування за Брегом–Брентано. Умови досліджень: досліджений інтервал кутів $2\theta = 25\text{--}140^\circ$, крок зйомки – $0,04^\circ$, час витримки у точці – 2 с; тривалість зйомки одного зразка – 90 хв.

Аналіз отриманих рентгенівських спектрів та проведення кількісного та якісного фазового аналізу здійснено з використанням програмного забезпечення PDXL, міжнародної бази даних дифракції ICDD (PDF–2) та відкритої бази кристалографічних даних COD.

Установлено, що попередня обробка аустенітних сталей ХПД за методом поперечного стиску викликає зниження середньої температури різання, яку виміряли методом природної термопари, на $30\text{--}50^\circ\text{C}$. Дослідження складових P_z і P_y сили різання було проведено за допомогою стандартного тензометричного динамометра УДМ–600. Ці дослідження показали зниження складових у середньому на $25\text{--}30\%$ при сумісній дії ХПД і ріпакової олії [1].

Про суттєве поліпшення оброблюваності аустенітних сталей свідчать також зміна контактних характеристик процесу різання: нормальних напружень (тиску) q_N , дотичних напружень q_K та середнього коефіцієнту тертя μ [1].

Дослідження показали, що протягом усього циклу обробки на низьких та середніх швидкостях різання тіло наросту має стабільну форму і перебуває у зоні дії виключно пружних деформацій. Наріст є додатковим різальним клином, який генерує система, що адаптується до характерних умов процесу. Позитивна функція наросту полягає у захисті різальної кромки інструменту і розміщення лунки зношування на передній грані на деякій відстані від цієї кромки. Негативна функція наросту полягає у значному погіршенні оброблюваної поверхні деталі через періодичне видалення його твердих часток з боку задньої поверхні. Відмінність процесів наростотворення при різанні незміцненого і зміцненого металу полягає у розмірах і об'ємі тіл наросту. Основними геометричними характеристиками наросту є: радіус округлення ρ_H , передній кут γ_H , довжина підшви s_H та площа тіла S_H .

Дія попереднього ХПД та екологічно чистої МОР рослинного походження дозволяє у кілька разів знизити характеристики наросту. Тим самим напружено-деформівний стан системи «оброблюваний матеріал – інструментальний матеріал – стружка» максимально наближається до

початкового (заданого). Зона пластичного контакту стружки з передньою поверхнею зменшується. Параметри різального клину набувають значень, близьких до створюваних заточуванням. Шорсткість обробленої поверхні поліпшується за параметром R_z у 5–20 разів [2].

Побудовано взаємозв'язок явищ при різанні аустенітних сталей, попередньо зміцнених ХПД, в умовах екологічно чистих МОР. Вплив ХПД на зміну твердості аустенітних сталей полягає у наступному. Зміна твердості діє на складові P_z і P_y , температуру різання Θ і коефіцієнт усадки стружки ζ . Виконуючи частину роботи різання, попереднє ХПД знижує величину P_z та P_y , що, у свою чергу, знижує величину q_N , q_F і μ у зоні контакту. Попереднє ХПД також знижує інтенсивність наростоутворення.

Зниження коефіцієнта усадки стружки ζ також призводить до зниження її товщини, тобто зменшення радіуса завитка стружки і, як наслідок, підвищення коефіцієнта заповнення канавок $1/k$ при різанні інструментом із примусовим формуванням валика стружки. Для різальних протяжок така зміна може складати від $1/k = 0,21$ до $1/k = 0,63$, тобто збільшуватись у 2–3 рази. Збільшується відповідно і допустима довжина протягування.

Вплив МОР на параметри процесу різання полягають у наступному. Використання ріпакової олії дає зниження μ та ζ на 30% та 80% відповідно. Зміна швидкості різання в межах 5 – 50 м/хв в поєднанні з попереднім ХПД та МОР дозволяє керувати явищем наростоутворення.

Сумісна дія вищезгаданих факторів дозволяє суттєво підвищити оброблюваність аустенітних сталей, для яких складність обробки різанням лезовим інструментом із швидкорізальної сталі є звичним явищем.

Завершальною (фінішною) термічною обробкою деталей із аустенітних сталей з метою повернення початкових експлуатаційних властивостей, вибрано середній відпуск. Призначення цієї операції – зняти залишкові напруження, які виникли у деталях у попередніх операціях; змінити фізико-механічні властивості матеріалу (підвищити пластичність та ударну в'язкість при незмінній границі текучості; дещо знизити твердість і тимчасовий опір); перетворити різні структурні складові знову у аустеніт. Середній відпуск виконується у діапазоні температур 300–350° С при витримці 1,5 – 2 години у захищеному аргоні середовищі [3].

Таким чином, для виробництва та відновлення деталей із аустенітних сталей рекомендується наступна схема основних технологічних операцій: холодне об'ємне пластичне деформування – формоутворююча обробка різанням у середовищі екологічно чистих МОР на основі ріпакового масла – середній відпуск у захисному аргонному середовищі. При необхідності (для точних деталей) слід рекомендувати фінішну алмазно-абразивну обробку [1–3].

Література:

1. Посвятенко Е.К., Аксьом П.А. Про природу впливу деформаційного зміцнення на оброблюваність аустенітних сталей // Вісник Національного транспортного університету. 2019. Вип. 3 (45). С. 113–121.

2. Посвятенко Е.К., Будяк Р.В., Аксьом П.А. Розширення застосування виробів із аустенітних сталей у харчовій галузі // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 1 (112). С. 70–80.

3. Posviatenko Eduard, Posviatenko Nataliia Cold plastic deformation as an effective method of engineering surface machine parts // Scientific letters of academic society of Michal Baludansky. 2019. № 1 (7). P. 73–78.

УДК 621.791

О.В. Бережна, д.т.н., доц.,

М.В. Шаповалов, к.т.н., доц.,

О.А. Недвіга, асп.,

Донбаська державна машинобудівна академія

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВАЛІВ МЕТАЛОБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

У сполученнях деталей типу «вал – втулка» для передачі обертаючих моментів використовують шпонкові з'єднання. Шпонкові канавки, що виконуються на відновлених валах, знижують несучу здатність деталей, які сполучаються, викликають в ослаблених перетинах концентрацію напружень. Вказане є небажаним при роботі в умовах змінних напружень.

При електроконтактному зміцнювальному наплавленні обкатка нанесеного на циліндричну поверхню шару роликом електроконтактної машини без подачі електричного струму приводить до викривлення пазу. Виникають удари ролику, що виводить його зі строю. Для відпрацювання технології зміцнення валів у лабораторних умовах проводили випробування на втомлюваність наплавлених зразків без шпонкових пазів і зразків, на робочі поверхні яких наносили пази

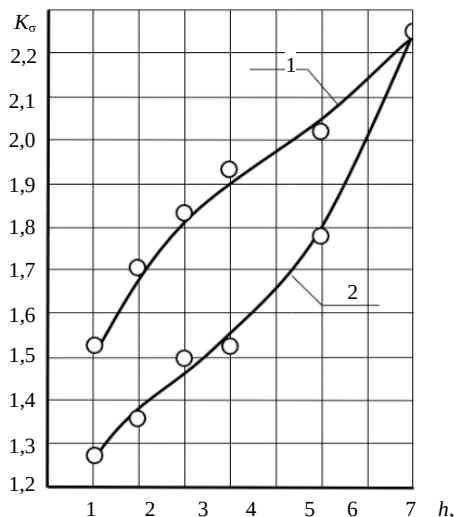


Рис. 1. Зміна ступеню зниження межі витривалості K_σ під впливом шпонкового пазу залежно від глибини пазу h

різної глибини. Матеріалом для досліджень слугували зразки зі сталі 40 з нанесеним електроконтактним методом шаром з ідентичної марки сталі. Наплавлені заготовки довжиною 226 мм піддавали нормалізації за режимом: температура нагріву 830–840 °С, витримка 25 хв., охолодження на повітрі. Надалі слідував відпуск для зняття напружень при температурі 620–640 °С, витримка – 60 хв., охолодження – разом із піччю. Обкатку виконували за допомогою ролику модернізованої електроконтактної машини

МШП-150 без подавання електричного струму. Зусилля обкатки 4,2 кН, число обертань наплавленого зразку 180 хв¹. Глибину зміцненого шару визначали на косих шліфах за результатами вимірювання твердості по відбитку піраміди при навантаженні на індентор 50 Н. В результаті твердість на поверхні зразків збільшилася на 15,4 %. Випробування на втомність виконували на машині типу МУІ-6000 з постійним згинаючим моментом вздовж робочої довжини зразку. Це дозволило піддавати циклічному навантаженню не тільки один будь-який перетин зразку, а всю протяжність робочої довжини, де виконано шпонковий паз. База випробувань – 5 млн. циклів. Визначали також теоретичний ефективний коефіцієнт концентрації напружень K_σ наплавлених зразків до обкатки (крива 1) та після обкатки (крива 2), що дорівнює співвідношенню межі витривалості без шпонкового пазу до межі витривалості зі шпонковим пазом даної глибини (рис. 1).

Результати виконаних випробувань з визначення межі витривалості приведено в табл.1.

Таблиця 1

Експериментальні дані на опір втомі зміцнених валів

Глибина шпонкового пазу, мм	Співвідношення глибини шпонкового пазу та діаметру	Межа витривалості, МПа		Ефективний коеф. кон-центрації напружень, K_σ		Ефективність обкатки, %
		Наплавлені зразки до обкатки	Наплавлені зразки після обкатки	Наплавлені зразки до обкатки	Наплавлені зразки після обкатки	
0	–	280	–	–	–	–
0,5	0,029	192	225	1,46	1,25	17
1,0	0,058	184	222	1,52	1,26	21
1,5	0,088	179	209	1,56	1,34	16
2,0	0,118	164	206	1,70	1,36	25
2,5	0,147	159	193	1,76	1,45	21
3,0	0,176	153	187	1,83	1,50	22
3,5	0,206	146	185	1,92	1,51	27
4,0	0,235	145	183	1,93	1,53	26
6,0	0,35	135	156	2,07	1,79	16
8,0	0,47	124	124	2,26	2,26	–

Експериментальні дані демонструють, що шпонковий паз викликає зниження несучої здатності зміцнених валів за опором втомі. При цьому зі збільшенням глибини шпонкового пазу зростає його негативний вплив.

УДК 621.9

Я.В. Васильченко, д.т.н., проф.,

П.А. Гавриш, д.т.н., доц.,

М.О. Малигін, асп.,

Донбаська державна машинобудівна академія

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАЗОВИХ ВУЗЛІВ СТАНИН ВЕРСТАТІВ

Виготовлення станин у зварному варіанті надає нові завдання для проєктантів: випробування зварно-литих базових деталей в експлуатаційних умовах; удосконалення методів розрахунку базових вузлів; розробка раціонального конструктивного оформлення зварних базових вузлів з метою підвищення несучої здатності станин. Необхідно для вирішення заданої мети удосконалити технологічні методи зварювання базових вузлів. Зварні з'єднання мають більш високі показники жорсткості на згін ніж виготовлені з литва. До того ж деформаційні явища при циклічних навантаженнях зварних конструкцій значно нижче ніж литва. Однак методика розрахунку зварних конструкцій базується не на дослідженнях і розрахунку саме зварно-литих з'єднань, а на розрахунку типових зварних з'єднань згідно ГОСТ 5264–80. Тому відсутність таких досліджень і розрахунків приводить до неадекватних запасів міцності саме у зварних вузлах, присутності концентраторів напруги через нераціональну конструкцію вузла, що може додатково вести до збільшення напружень які перевищують розрахункові [1]. При підготуванні зразків методом виливки була врахована типова технологія для зняття остаточних напружень з ливарних деталей термообробкою. Радіус галтелі гладких зразків був визначений згідно ДСТУ 3321:2003. Після виливки зразків, остаточного охолодження, зачищення литва, видаляли ливникові системи та надливи – механічним засобом для зменшення остаточних напружень у металі. Для контролю якості термічного оброблення і якості металу литва використовували зразки-свідки згідно ДСТУ 8781:2018. Було враховано розміри і конструкції захватів для кріплення зразків при випробуванні на втому. Для визначення чутливості сталі 35Л та Ст45 до концентраторів напружень – зразки виготовляли ступінчасті (рис.1).

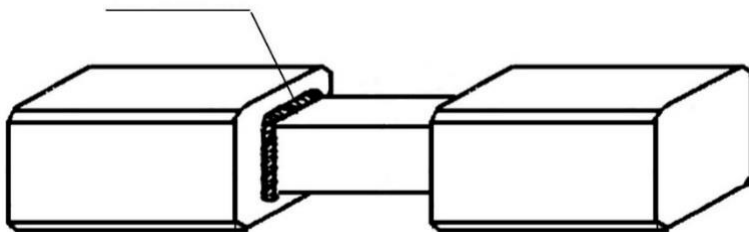


Рис. 1. Принципова схема зразку для визначення чутливості до концентрації напружень

Технологія термообробки: температура нагрівання складала – $670 \div 890$ °С, швидкість нагрівання $70 \div 80$ °/год., впродовж нагріву в районі фазових перетворень призначалася 1,5 годинна витримка. Тривалість витримки при температурі нормалізації – 4 години. Після витримки зразки видавали на повітря і охолоджували у цеху до температури 200 °С. Відпал виконували негайно при температурі $600 \div 550$ °С з тривалістю витримки 2,5 години. Після витримки зразки охолоджували разом з піччю до температури не вище 200 °С, потім їх витягали на стелаж прольоту цеха. Для контролю якості термічної обробки і металу зразків, разом з ними проходили і зразки-свідки. По 4 зразка-свідка, форма і розміри яких відповідали основним зразкам. Отримані таким чином зразки (моделі реальних зварних вузлів) перед випробуванням піддавалися заключній механічній обробці. Фрезерували головки кожного зразка до чистових розмірів. Окремі серії зразків піддавалися додатковій механічній обробці після зварювання – видалялося підсилення зварного шва. Якщо розглядати з позиції міцності, отриманий зварний шов та його вплив на міцність базових вузлів, то саме оцінка міцності зварного шва і зони термічного впливу впливає на структуроутворення і працездатність конструкції. Мікроструктура сталей Ст45 і сталі 35Л, прийнятих для випробувальних зразків, ферито-перлітна. Сталь 35Л, виготовлена методом литва, має структуру також ферито-перлітну, але з особливостями, які притаманні доєвтектоїдній сталі (яка піддавалася термічній обробці). Тобто у зонах розплаву металу при зварюванні можуть виникати найрізноманітніші поєднання структур, тип, особливості і характер яких залежить від великої кількості факторів. При дослідженні мікроструктури видно, що такі дефекти як пори непроварювання, місцева несучільність – не виявлені. Метал досить щільний. При порівнянні зразків з термообробленням і зразків без термооброблення при візуальному контролі чітко видно, що зона термічного впливу з боку сталі 35Л більша, ніж з боку Ст45, і видна стрічковість наплавленого металу. Після термічної обробки мікроструктура сильно не змінюється, але зберігається чітка окресленість зони шва і зони термічного впливу.

Література:

1 Васильченко Я.В., Малигін М.О. Ремонт базових деталей верстатів у литому виконанні / Матеріали VIII Міжнародної науков-технічної конференції «Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві» // Краматорськ, ДДМА. – 2021. – С. 31.

УДК 621.923.1

М.С. Степанов, д.т.н., проф.¹,

Л.П. Іванова, ст. викл.²,

П.І. Літовченко, к.т. н., доц.²,

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»¹

Національна академія Національної гвардії України²

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СИСТЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ МОР ПРИ ШЛІФУВАННІ

До сучасних машин висуваються підвищені вимоги щодо технічного рівня та конкурентоздатності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Однією з головних умов досягнення вказаних характеристик виробів машинобудування є підвищення точності виготовлення, якості функціональних поверхонь, покращення технологічної культури виробництва. Доля шліфувальних операцій при виготовленні деталей машин знижається за рахунок застосування високотехнологічних способів отримання заготовок литтям, пластичним деформування, тощо. Однак вона залишається достатньо великою, особливо при високих вимогах щодо точності виготовлення та шорсткості поверхонь деталей, що обробляються.

Важливою умовою високої продуктивності шліфування та забезпечення точності і якості обробки є підтримка стабільного теплового режиму у зоні різання, яка здійснюється ефективним відводом теплоти, що виділяється. Вказану функцію виконує МОР – мастильно-охолоджуюча рідина, яка сприяє зниженню потужності і сили різання, пришвидженню теплообмін, забезпечує зменшення температури у зоні різання.

Аналіз теплових потоків шліфувального верстату, проведений авторами, показує, що найбільша нестабільність характерна для теплоти, що поступає у верстат із системи застосування МОР. З цієї причини очевидно, що актуальною проблемою є зменшення впливу теплових потоків верстату на точність шліфування, яка може бути забезпечена, в тому числі, покращенням охолоджувальної здатності МОР.

На ефективність охолоджуючої дії МОР при шліфуванні впливають: схема обробки, геометрична форма шліфувального круга, режими різання, площа зони контакту круга і заготовки, характеристики круга і матеріалу, що обробляється. Температурні деформації верстатів порушують їх геометричну точність і викликають похибки розмірів і форми оброблюваних деталей. Крім того, температурні деформації шліфувального верстата призводять до відхилення від перпендикулярності осі шпинделя до площини столу. За відомостями авторів, при зміні температури на 5°C зміна кутового положення осі шпинделя може скласти 0,1 мм на довжині 1000 мм. В результаті цього відхилення від паралельності торців шліфованої заготовки становить 0,012 мм на довжині 300 мм.

У даній роботі вирішувалася актуальна задача – побудова загальної математичної моделі теплового режиму системи застосування МОР круглошліфувального верстату, встановлення функціонального зв'язку між зміною температури МОР і тепловими деформаціями верстата, розробка рекомендацій і засобів стабілізації теплового режиму верстата.

Авторами запропонована і удосконалена схема та побудована математична модель температурного режиму системи застосування МОР, яка має ряд переваг у порівнянні з традиційною методикою визначення параметрів температурного режиму системи охолодження шліфувального верстата, а саме:

- дає можливість визначити поточну температуру охолоджуючої рідини в кожній з декількох контрольних точок, зв'язаних з окремими елементами системи застосування МОР;

- дозволяє здійснити розрахунок як поточної температури при роботі системи у нестационарному режимі, так і сталої температури МОР у резервуарі при роботі системи у стаціонарному режимі.

Математична модель реалізована у авторській програмі (Свідоцтво № 92215 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Моделювання теплового режиму мастильно-охолоджуючої рідини при круглому врізному шліфуванні (Heat_T)». Дата реєстрації 10.01.2020 р.). Програма дозволяє виконати багатоваріантний розрахунок температури МОР у всіх контрольних точках системи при роботі у нестационарному і стаціонарному режимах.

За допомогою програми Heat_T проведено цикл розрахунково-аналітичних досліджень. Визначались залежності температури МОР від часу роботи системи застосування МОР у робочому режимі і від об'єму резервуара. Дослідження проводилися для наступних даних: витрата 45дм³/хв, робочий тиск 0,06 МПа; тип МОР – УКРІНОЛ-1 з концентрацією 3%. В результаті проведених розрахунково-аналітичних досліджень встановлено, що стабілізація теплового режиму МОР настає після 0,5...15 годин роботи шліфувального верстата при точності визначення величини усталеної температури 0,5...0,001°C, що дозволяє використовувати вказані результати при розробці алгоритмів і засобів компенсації температурних деформацій верстатів при обробці високоточних деталей. На цій основі з'являється можливість визначити раціональний об'єм МОР у системі її застосування з врахуванням витрати на охолодження зони різання, параметрів режиму шліфування, характеристик шліфувального круга.

Послідовність зміни температури у резервуарі МОР показує, що вони криві температури мають характерну форму, яка складається з двох ділянок: кривої, що характеризує роботу систему застосування МОР у нестационарному режимі і майже прямої лінії, яка асимптотичне наближається до горизонтальної лінії усталеної температури, що характеризує роботу системи у стаціонарному режимі.

Як показав аналіз результатів, збільшення температури МОР після теплообміну із заготовкою і кругом пояснюється високою теплонапруженністю процесу врізного шліфування, особливо на стадії попереднього шліфування, де

температура навіть при застосуванні МОР коливається у діапазоні 200...900 °С. Очевидно, що для прийнятих параметрів системи застосування МОР умовою підтримання середньої температури МОР у межах 25...35 °С в резервуарі його об'єм повинен бути 150...500 дм³. Природно, він може бути й більшим, але подальше підвищення об'єму МОР при прийнятих умовах шліфування буде надмірним і приведе тільки до необґрунтованого збільшення габаритів резервуару.

Дослідження показало, що інструментами забезпечення раціонального теплового режиму системи застосування МОР є підбір потрібного об'єму резервуару і відповідних характеристик насоса на основі автоматизованого розрахунку параметрів температурного режиму МОР за допомогою розроблених програмних засобів. Розроблені математичні і програмні засоби передбачається застосувати при розробці нормативів потрібного об'єму МОР в системах її застосування для шліфувальних верстатів.

Крім того, у роботі запропоновано спосіб подачі охолоджуючої рідини, суть якого полягає в тому, що для збільшення точності обробки деталей шліфування здійснюється без контакту нагрітої МОР з поверхнями шліфувального круга, шліфувальної бабки та хвостовика, станини та столу верстата, а також зі відходами шліфування. Для практичної реалізації цього методу було розроблено пристрій (Stepanov, M., Litovchenko, P., et al.: Coolant supply device. Patent of Ukraine № 136095, 2019. (In Ukrainian)) для подачі рідкого теплоносія під час механічної обробки зовнішнім круглим шліфуванням. Цей пристрій містить насадку для подрібнення відходів, розподільну насадку, яка закриває заготовку, і приймач з повітряними каналами та радіальними насадками, виготовленими з різним діаметром. В теперішній час проводяться дослідження для визначення раціональних параметрів (діаметрів та кількості повітряних форсунок) цього пристрою.

Запропонований спосіб і пристрій, що передбачає ізоляцію контакту МОР з поверхнями елементів машини та збільшення жорсткості технологічної системи машини, що виникає під дією повітряних струменів, утворених певним чином, можна використати для збільшення точності шліфування деталей за рахунок зниження температури та пружних деформацій. Зазор між поверхнею заготовки і кінцями насадок на загальну силу повітряних струменів практично не впливає. Деформацію внаслідок дії повітряних струменів можна зменшити на 21%. Особливо цей ефект досягається під час остаточного подрібнення, і характер розташування насадок є важливим.

У процесі досліджень запропонованої схеми подачі виявлено явище перекриття ділянок зони контакту шліфувального круга і заготовки повітряними струменями, що виникає при утворенні повітряних перешкод для запобігання контакту рідкого холодоагенту зі шліфувальним верстатом. Перекриття зони контакту потоком повітря запобігає потраплянню охолоджуючої рідини в зону різання, що впливає на коефіцієнт теплопередачі. Визначено параметри, що формують схему перекриття, найважливішими з яких є тиск повітря на вході і розмір кільцевого зазору між заготовкою і внутрішньою поверхнею торцевих елементів пристрою подачі теплоносія.

Одночасне вплив потоків МОР і повітряних струменів викликає зміна процесів теплопередачі, що відбуваються в зоні різання. Авторами розглянуті зміни коефіцієнта тепловіддачі по лінії контакту шліфувального круга і заготовки. Виявлено явище перекриття ділянок зони контакту шліфувального круга і заготовки, що виникає через виїмок в охолоджуючої рідини під дією повітряного струменя з обох сторін. Визначено, що характер перекриття багато в чому залежить від тиску вхідного повітря і величини кільцевого зазору між заготовкою і внутрішньою поверхнею кінцевих елементів пристрою подачі охолоджуючої рідини.

Запропоновано конструктивні заходи, що дозволяють мінімізувати (зменшити більш ніж в 4 рази) довжину ділянок перекриття струмами повітря і, тим самим, забезпечити безперешкодний доступ рідкого теплоносія в зону контакту шліфувального круга і заготовки.

Розроблені математичні і програмні засоби передбачається застосувати при розробці нормативів потрібного об'єму МОР в системах її застосування для шліфувальних верстатів.

УДК 621.923

**Д.Ю. Джулій, к.т.н.,
К.О. Заставський, асп.,
В.С. Майборода, д.т.н., проф.,
І.В. Слободянюк, к.т.н.,**

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

СИЛИ ОПОРУ МІГНІТНО–АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ МАГНІТНО–АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ В КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ

Якість виробів в значній мірі визначається саме параметрами поверхневого шару, такими як шорсткість та фізико–механічні властивості. Для фінішного оброблення використовується ряд технологій, які можуть бути ефективно використані для оброблення одного типу деталей, а для іншого типу чи матеріалу їх використання є не ефективним. Особливо важко виконувати фінішне оброблення для складнопрофільних деталей, коли потрібно не лише зменшити шорсткість, а і підвищити твердість поверхневого шару і покращити напружений стан. Метод магнітно–абразивного оброблення (МАО) може бути ефективно використаний для вирішення таких складних задач, однак для ефективного його використання необхідно чітко розуміти параметри взаємодії магнітно–абразивного інструменту (МАІ) з оброблюваними поверхнями при їх складному переміщенні в робочій зоні, оскільки на ефективність процесу

значний вплив мають фрикційна та ударна взаємодія квазістабільних об'ємів магнітно–абразивного інструменту з оброблюваними поверхнями. Тому актуальною науково–технічною задачею є визначення реальних сил взаємодії оброблюючого середовища та поверхонь деталей. Для вирішення цієї задачі виконано серію експериментальних досліджень при MAO циліндричних зразків діаметром 16 мм та висотою 30 мм, виготовлених з магнітних (сталь 40Х13) та немагнітних (БрОЦ, Д16Т, ВТ8) матеріалів. Оброблення виконували магнітно–абразивним порошком Феромап з розміром зерен 200/100 мкм, варіювали швидкість руху зразків в робочій зоні верстату за рахунок зміни частоти обертання шпинделя 100 – 300 об/хв та величиною магнітної індукції в робочій зоні 0,2 – 0,245 Тл в порожньому робочому зазорі. В процесі досліджень вимірювали тиск МАІ на зразки. Аналіз отриманих результатів показав, що для немагнітних зразків тиск на деталь однаковий при рівних параметрах оброблення, тому результати наведені на рис. 1 усереднено для алюмінію, титану та бронзи.

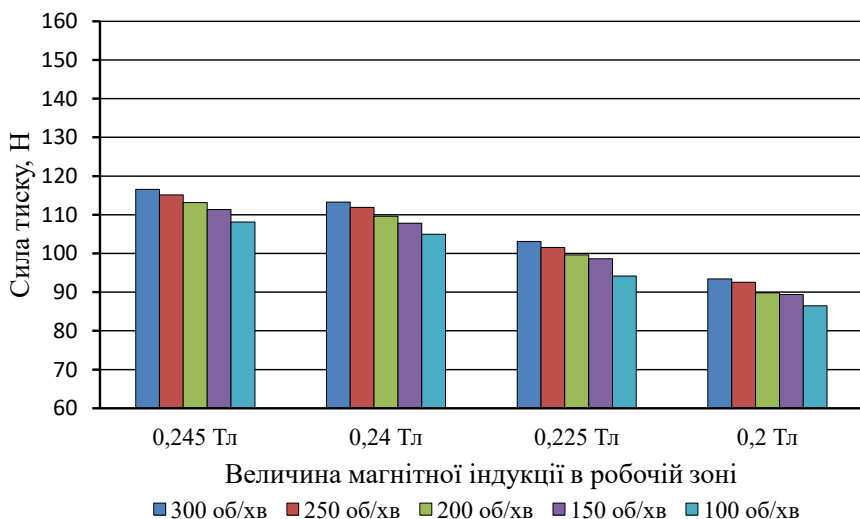


Рис. 1. Сила тиску МАІ на немагнітні зразки при різній величині магнітної індукції та швидкості руху зразків в робочій зоні верстату

Встановлено, що сила тиску МАІ на немагнітні зразки має не суттєву залежність від швидкості руху їх в робочій зоні верстату з тенденцією до зниження величини при зменшенні швидкості при всіх досліджуваних величинах магнітної індукції в робочому зазорі. Визначено, що на силові характеристики опору квазістабільних утворень порошку руху зразків значний вплив мають саме магнітні сили, так при величині магнітної індукції в робочій зоні 0,2 Тл сила тиску становить 86–94 Н в залежності від швидкості, то уже при 0,245 Тл сила тиску зростає до 108–117 Н, відповідно.

При аналогічних умовах виконано дослідження по обробленню сталевих зразків, отримані результати представлено на рис. 2.

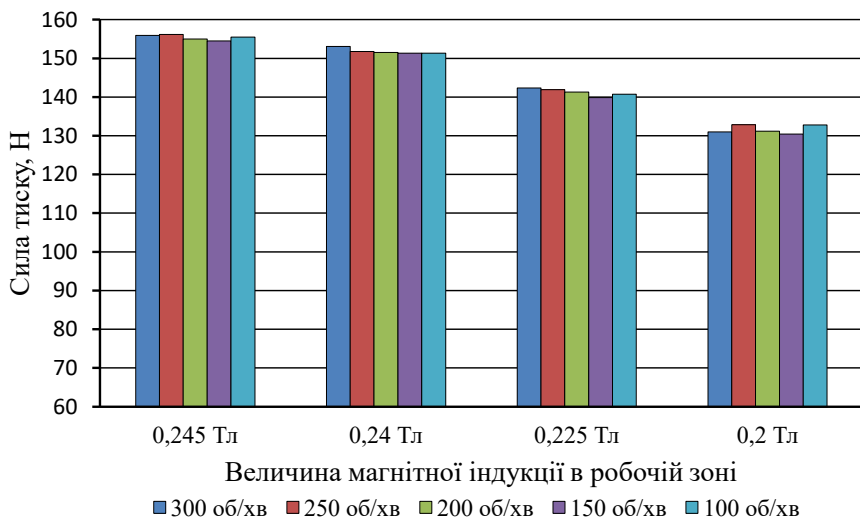


Рис. 2. Сила тиску МАІ на **магнітні** зразки при різній величині магнітної індукції та швидкості руху зразків в робочій зоні верстату

На відміну від попереднього випадку не виявлено навіть незначної залежності сили опору від швидкості руху зразків вздовж робочої зони. Отримані результати для однієї величини магнітної індукції при різних швидкостях знаходяться в межах похибки вимірювання. Аналогічно як і для попереднього випадку найбільший вплив на сили тиску спричиняє саме величина магнітної індукції в робочій зоні. Так при 0,2 Тл сила тиску дорівнює 131–133 Н, а при 0,245 Тл відповідно 154–156 Н. Збільшення величини сил опору для магнітної деталі закономірне, оскільки при цьому магнітна складова сумарної сили взаємодії більша і рухомому зразку важче розірвати квазістабільні утворення порошку, а сама деталь при цьому виступає концентратором магнітного поля. Проте різниця величини сил однакова між 0,2 Тл та 0,245 Тл як для магнітних зразків, так і для немагнітних і становить 22–23 Н.

Таким чином встановлено, що як для магнітних, так і для немагнітних деталей сила тиску мало залежить від швидкості руху зразків в робочій зоні верстату, в межах досліджуваних швидкостей 1–3 м/с. А величина магнітної індукції має значний вплив на сумарну силу тиску для всіх досліджуваних типів матеріалів. При однакових умовах сила тиску для магнітних зразків, закономірно, більша і для 0,245 Тл досягає величини 154–156 Н.

УДК 621.9.2

М.В. Фролов, к.т.н., доц.²,

І.А. Бойко, к.т.н., інж.^{1,2},

Д.В. Деменко, асп.^{1,2},

*АТ Мотор Січ*¹,

*Національний університет «Запорізька політехніка»*²

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ І МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Тенденції розвитку сучасного машинобудування все більше вимагають від промислових підприємств швидкого реагування на зміну кон'юнктури ринку – а тому й скорочення термінів підготовки виробництва, максимально використовуючи вже наявне обладнання, підвищуючи якість продукції. Для збереження конкурентної спроможності кожне підприємство розробляє та впроваджує певні заходи, одним з яких є модернізація виробництва, зокрема, модернізація технологічного обладнання, що дозволяє збільшити продуктивність праці, зробити більш зручним його обслуговування, збільшити міжремонтний ресурс. Усе це дасть змогу скоротити витрати виробництва на простій обладнання, підвищити його точність тощо.

Практика машинобудування вказує на те, що раціональна побудова (компоновка) верстата має великий вплив на його якість та точність. Доцільний вибір компоновки, пропорцій, розташування вузлів, забезпечують необхідну спрямованість та спеціалізацію верстата, його відповідність певним технологічним та іншим вимогам, високі техніко-економічні показники якості.

Головною відмінністю та перевагою сучасних агрегатних технологічних систем механічної обробки в порівнянні з агрегатними верстатами є технологічна гнучкість, переналагоджуваність та перекомпонування.

Принципова різниця полягає в тому, що перекомпонування, на відміну від переналагоджування, змінює структуру верстата. Проблему підвищення гнучкості розв'язав принцип агрегатування – варіант побудови верстата з уніфікованих та нормалізованих деталей і вузлів, кожен із яких має певне призначення та володіє геометричною та функціональною взаємозамінністю та можливістю роботи від автономних електродвигунів. Створення варіативних конструкцій на одній базі, в залежності від вподобань замовника, дає можливість розширення області застосування такого верстата та підвищує його конкурентну спроможність.

Усебічний перехід на агрегатно-модульний принцип побудови верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) дає змогу виготовляти принципово нове сучасне технологічне обладнання або виконувати його часткову модернізацію, зокрема заміну певних вузлів (модулів), для розширення технологічних можливостей верстата в цілому. Такого роду модернізація проводиться з мінімальною затримкою виробничого циклу та має мінімальний вплив на номенклатуру продукції, що випускається.

Модуль – конструктивно та функціонально закінчена одиниця, що є складовою частиною загальної структури верстата та може використовуватися як самостійно, так і в різноманітних комбінаціях із другими модулями. Модульний принцип проектування дозволяє створювати нове високопродуктивне обладнання для оптимальної обробки заготовок, замість необхідності зміни технології обробки під можливості вже наявного обладнання, та створює реальні передумови для заміни застарілих методів проектування нових конструкцій верстатів та систем.

Із розвитком сучасного верстатобудування окремі модулі, такі як шпиндельний вузол, напрямні, поворотні столи тощо стали повністю або частково незалежні від конструкції, а іноді навіть від типу верстата, а їхні необхідні типорозміри централізовано виготовляються на різних верстатобудівних підприємствах.

Головна метою застосування модульного принципу побудови верстатів – забезпечення різноманітних компоновок та конструкцій верстатів при обмеженій номенклатурі модулів. Застосування модульного принципу побудови верстатів із ЧПК має ряд переваг. Одними із найважливіших є скорочення часу розробки, проектування та виготовлення (модернізації) верстата, а також зниження собівартості його виготовлення за рахунок великої кількості вже сконструйованих та виготовлених модулів, їх уніфікації. У порівнянні з минулим століттям, коли кожне верстатобудівне підприємство самостійно розробляло компоновку, конструкції різних вузлів та механізмів, які мали складні кінематичні структури, індивідуальні компоновочні схеми конструкцій приводів подач, поворотних столів, револьверних головок, різноманітних напрямних тощо, сучасний світ машинобудування має багато верстатобудівних підприємств, що спеціалізується на виготовленні окремих вузлів (модулів): шпинделів, шарико-гвинтових пар, напрямних тощо. Збільшення об'ємів партії випуску за рахунок концентрації на одному підприємстві виробництва типових виробів, сприяє підвищенню точності та надійності виробів, а також зниженню її собівартості. Оскільки розробка верстата відбувається на основі вже запроєктованих та відпрацьованих модулів, спостерігається покращення умов експлуатації та ремонтпригодності за рахунок зменшення різноманітності конструкцій складових елементів.

Слід зауважити, що точність обробки деталей на верстаті залежить не тільки від точності основних модулів приводів головного руху та подач, напрямних та гвинтових передач тощо, але й від точності виготовлення, похибки форми та відхилень взаємного розташування базових деталей: столів, стійок, станини. Тому при компонуванні верстата, слід приділяти велику увагу розрахунку жорсткості корпусних та базових елементів, яка характеризує здатність елементів обладнання чинити опір пружним деформаціям під дією сил різання. Станина повинна мати високі демпфуючі властивості, тобто здатність гасити коливання, високу жорсткість, що визначається деформацією рухомих та нерухомих з'єднань, довговічність, що виражається у стабільності форм базових деталей та здатності напрямних зберігати первинну точність протягом заданого терміну експлуатації та інші.

Комплектація модулів може бути найрізноманітнішою, але найбільш вдалою треба вважати компоновку верстата, на основі якої можна створити велику різноманітність верстатів різного технологічного призначення з великою кількістю запозичених вузлів.

Література:

1. Обладнання для новітніх технологій [Текст] : навч. посібник / В. В. Солоха, Л. Й. Івченко, І. А. Бойко та інші. – Запоріжжя. : Мотор Січ, 2021. – 209 с.
2. Пермяков, А.А. Современные силовые агрегаты как элементная база создания станков и систем агрегатно-модульной конструкции. Високі технології в машинобудуванні. 2015. №1(25). С. 123–133.
3. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.

УДК 621.941

О.В. Шевченко, д.т.н., проф.,

С.А. Манзюк,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПРОЕКТУВАННЯ І ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ З ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

Одним з ефективних напрямків вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення точності та продуктивності токарної обробки є використання спеціального інструментального оснащення з пружними елементами. Серед факторів, що стримують широке використання інструментального оснащення з пружними елементами при токарній обробці, є відсутність спеціальних методик проектування та розрахунку конструктивних параметрів оснащення.

Проведені дослідження [1] дозволили розробити спеціальну методику проектування інструментального оснащення з пружними елементами. Цю методику можна використати для створення нового ефективного інструментального оснащення, що дозволить підвищити точність та продуктивність токарної обробки за рахунок забезпечення додаткових можливостей в мікрорегулюванні положення різального інструменту, дробленні стружки в процесі різання та зменшенні інтенсивності автоколивань.

Ефективність роботи верстатів токарної групи значною мірою залежить від технічного рівня інструментального оснащення, що може забезпечити підвищення продуктивності обробки за рахунок скорочення всіх складників

штучного часу. До загальних вимог, що пред'являються до інструментального оснащення верстатів відносять наступне [2]:

1. Кріплення різального інструменту з достатньою точністю, жорсткістю та вібростійкістю.
2. Регулювання положення різального інструменту для його налагодження та підналагодження.
3. Розширення технологічних можливостей верстатів.
4. Концентрація технологічних переходів.
5. Зручність в експлуатації (швидкозмінність, легкість збирання, налагодження та ін.).
6. Технологічність виготовлення.

Під час вибору інструментального оснащення перевагу повинні мати конструкції з елементами, які регламентовані стандартами, що забезпечує зменшення собівартості виробництва інструменту. Критеріями вибору раціональних конструкцій інструментального оснащення під час їх розробки є універсальність, жорсткість, точність, можливість переналагодження та інші, що визначають виходячи з основного критерію – ефективність експлуатації верстатів. Розроблену на основі цих критеріїв поетапну методику можна рекомендувати для проектування конструкцій різцетримачів з пружними елементами для різного технологічного призначення.

На першому етапі визначаються початкові параметри для розробки розрахункової схеми конструкції. До цих параметрів можна віднести наступні: - компоновка та розміри робочої зони верстата; - технологічне призначення різцетримача; - габаритні розміри штатних різцетримачів верстата; - рівень навантаження різцетримача зовнішніми силами; - вибір способу керування приводом різцетримача (ручне, дистанційне, автоматичне, комбіноване).

На другому етапі встановлюються діапазони основних технічних характеристик оснащення. Для цього спочатку визначають та аналізують показники якості базового верстата [3]. Потім встановлюють бажані статичні та динамічні характеристики оснащення (точність кріплення та позиціонування, жорсткість, частоти власних коливань).

На третьому етапі розробляється математична модель процесу токарної обробки спеціальним інструментальним оснащенням. Основою для розробки моделі слугують показники якості базового верстата та основні технічні характеристики оснащення.

На четвертому етапі виконується математичне моделювання процесу токарної обробки спеціальним інструментальним оснащенням та теоретичні дослідження для визначення впливу статичних та динамічних характеристик оснащення відповідного технологічного призначення на процес формування поверхні точінням [4].

На п'ятому етапі розробляється розрахункова схема різцетримача з орієнтованими відповідно до його технологічного призначення пружними елементами, наприклад, у вигляді тонких жорстких пластин. Задача розрахунку таких пружних елементів є геометрично та фізично лінійною, так як при роботі таких пластин їх геометрія змінюється несуттєво, напруження та переміщення

зростають пропорційно навантаженню. Крім того, доцільно використовувати конструкції, у яких пружні елементи, що з'єднують корпус різцетримача з віджимною частиною з різцем, утворюють рамну конструкцію. Паралельне розміщення пружних пластин забезпечує різцю можливість плоскоперелетельного переміщення від приводу позиціювання, а розміщення пружних пластин під кутом одна до одної забезпечує різцю можливість повороту відносно центра пружного шарніра. Статична жорсткість таких різцетримачів в основному визначається формою, розмірами та розміщенням пластин відносно вершини різця, а також податливістю та місцем прикладання зовнішнього навантаження від приводу переміщення віджимної частини.

На шостому етапі виконується попередній розрахунок жорсткості різцетримачів як статично невизначених рам з використанням методу сил, або методу переміщень. За результатами розрахунків знаходяться залежності жорсткості віджимної частини різцетримача від конструктивних параметрів пластин та приводу. Аналіз цих залежностей дозволяє попередньо вибрати форму, розміщення та розміри пружних пластин різцетримача.

На сьомому етапі виконується попередній розрахунок частотних характеристик різцетримача, із врахуванням того, що конструкція розглядається як система з кінцевим числом степенів вільності та із зосередженою точковою масою. Визначення на цьому етапі розрахунку частотних характеристик дозволить при необхідності внести корективи в конструкцію різцетримача з точки зору відстроювання від резонансних режимів роботи верстата.

Використання аналітичних методів розрахунку різцетримачів дає можливість наглядно показати вплив того чи іншого конструктивного параметру на статичні та динамічні характеристики різцетримача та можливість швидкого порівняння різних варіантів конструкцій різцетримачів. Але, враховуючи невисоку точність розрахунку, ці методи можна рекомендувати для попереднього розрахунку рамних конструкцій різцетримачів, або для простих за конфігурацією конструкцій. Виконання перших семи етапів розрахунку дозволяє розробити креслення базової конструкції різцетримача з пружними елементами.

На восьмому етапі за кресленнями базової конструкції створюється об'ємна геометрична модель різцетримача. Створення об'ємної моделі дозволяє перейти до коректування базової конструкції різцетримача на основі точних розрахунків.

На дев'ятому етапі досліджується об'ємна геометрична модель різцетримача з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) [5]. Аналіз пружно-напруженого стану об'ємної моделі дозволяє врахувати вплив всіх особливостей реальної геометричної форми різцетримача та з достатньою точністю визначити його статичні та динамічні характеристики.

Порівняння результатів розрахунків різцетримача традиційними аналітичними методами та МСЕ дозволяє визначити коефіцієнти їх взаємного приведення та отримати достатньо точні результати розрахунків типових варіантів інструментального оснащення з пружними елементами без

використання МСЕ. Такий підхід дає можливість скористатися перевагою аналітичних методів, враховуючи їх відносну простоту, у швидкому порівнянні різних варіантів конструкцій різцетримачів при задовільній точності результатів розрахунку.

На останньому десятому етапі за необхідністю може бути розроблена гама різцетримачів з пружними елементами для верстатів токарної групи різного типорозміру.

Виконання всіх етапів проектування дозволяє практично без дослідження дослідних зразків отримати працездатні конструкції інструментального оснащення з пружними елементами для різного технологічного призначення.

Література:

1. Шевченко О.В. Методи підвищення стійкості процесу різання при токарній обробці нежорстким інструментальним оснащенням. Машинознавство № 8 (146). . Київ, 2009. с. 16–23.
2. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Шевченко О.В. Дослідження токарно-револьверних верстатів за параметрами якості // Прогресивні технології і системи машинобудування / Міжнародний збірник наукових праць, – Донецьк: ДонНТУ, 2011. вип. 42. с. 286–293.
4. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія / Упоряд. Кузнецов Ю.М., – К. – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
5. Шевченко О.В., Використання методу скінчених елементів для визначення статичних характеристик різцетримачів з пружними пластинами / Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, Машиностроение, вып.49, Киев, 2006. с.107–111.

УДК 621.92

О.Л. Мельник, к.т.н., доц.,

Є.Л. Січкачук, маг.,

Я.А. Степчин, к.т.н., доц.,

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЛОСКОГО ШЛІФУВАННЯ ЗА РАХУНОК УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАСТОСУВАННЯ МОР

В сучасному світі до деталей машин і механізмів ставляться все вищі вимоги по точності та якості обробки поверхонь. Процеси обробки різанням стають більш інтенсивними, швидкості робочих і холостих ходів збільшуються.

Ці умови вимагають від фахівців, що розроблюють процеси обробки, правильного застосування мастильно-охолоджуючих рідин (МОР), що зумовлює їх широке використання в усіх процесах обробки різанням, особливо в шліфуванні.

Метою впровадження МОР у процес обробки є поліпшення економічних показників, за рахунок зменшення енерговитрат на механічну обробку, підвищення їх експлуатаційних якостей, та підвищення продуктивності обробки. На першому місці задач стоїть визначення раціональних фізико-хімічних властивостей МОР для систематизації їх впливів на процеси обробки та раціонального застосування, одержання моделей процесу теплообміну при обробці з різними умовами тепловіддачі, визначення характеристик взаємодії з технологічним середовищем.

Пластичні деформації і тертя, що виникають в процесі різання, викликають високий тиск і температури в зоні контакту оброблюваної деталі і ріжучого інструменту. МОР впливають на зменшення тепловиділення (за рахунок полегшення процесу стружкоутворення і зменшення тертя), поглинають і відводять частину виділеної теплоти, знижуючи тим самим температуру різання. До цього необхідно додати миючу дію МОР при видаленні стружки і різного роду частинок із зони різання.

Особливо важливим є застосування МОР при шліфуванні, тому що шліфування характеризується високими температурами, що призводить до виникнення структурно-змінених шарів деталі, великих залишкових напружень та швидкого затуплення і зношення абразивного круга. І тому визначення шляхів раціонального застосування МОР, як схем застосування у певних умовах так і визначення раціонального хімічного складу є актуальною науково-технічною задачею машинобудування.

Комплекс параметрів впливу на ефективність процесу шліфування взаємодії потоку МОР з абразивним кругом та оброблюваною деталлю є складним і недостатньо вивченим. Тому розробка математичної моделі цього процесу та її дослідження створить можливості управління вибором умов обробки (параметрів режиму різання, складу та способу подачі МОР) з метою підвищення продуктивності процесу плоского шліфування.

Розробка математичної моделі процесу теплообміну при шліфуванні базувалася на даних експериментальних та теоретичних досліджень [1–5]:

1. Подача мастильно-охолоджувальної рідини в зону шліфування практично не впливає на контактну температуру при шліфуванні. Внаслідок високого тиску, що виникає в зоні контакту абразивного зерна з металом, рідина не потрапляє в цю зону і її охолоджуюча дія відбувається після проходження ріжучого зерна, що в цілому знижує тільки середню температуру шліфування.

2. МОР в зону контакту шліфувального круга з виробом потрапляє в наслідок затягування її у вузьку частину клиноподібної щілини, а також утворення розрідженого простору за зоною різання по напрямку обертання круга (рис. 1).

3. Гідродинамічний тиск МОР зростає при збільшенні глибини різання від 0 до 0,003 мм та її в'язкості, а також при переході від зустрічного шліфування до

супутнього.

4. При надлишковій подачі МОР (більше 15 л/хв.) з'являється протиток, тобто рух рідини у напрямку проти обертання шліфувального круга, що покращує її мийні властивості, але не умови проникнення в зону різання і охолодження деталі.

5. Практично уся механічна потужність мікрорізання перетворюється в теплоту, а остання поглинається в основному оброблюваною деталлю (69...80%).

6. Формула визначення сили, що діє на шліфувальний круг з боку гідравлічного клину, утвореного подачею МОР в зону різання, (рис. 1), базується на рівнянні Рейнольдса і має вигляд:

$$P''_y = \frac{3\mu v_k R}{h_0} \beta B K_B \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості МОТС, h_0 – товщина шару рідини, де тиск досягає максимуму, B – ширина круга, K_B – коефіцієнт розподілення тиску по ширині шліфувального круга, β – безрозмірний коефіцієнт навантаженості шліфувального круга.

7. Швидкість v і витрата q (на одиницю ширини круга) МОР, що проходить крізь щілину, утворену зоною контакту шліфувального круга з оброблюваною плоскою поверхнею деталі (за умови одномірності потоку рідини) можна представити формулами (2) і (3) відповідно:

$$v = \frac{1}{12\mu} \frac{(P_{max} - P_B) h_0^2}{L} + \frac{v_k}{2} \quad (2)$$

де P_{max} , P_B – відповідно максимальний та вакуумний (на виході з щілини) тиск у гідравлічному клині

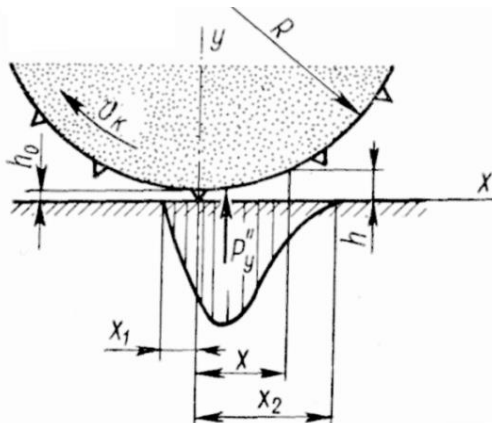


Рис. 1. Схема до розрахунку гідравлічного тиску P''_y та швидкості рідини v в зоні різання

$$q = v h_0 \quad (3)$$

На основі наведених вище положень з використанням системи твердотільного моделювання SolidWorks було виконано імітаційне моделювання процесів теплообміну, що виникають при чорновому шліфуванні плоскої деталі периферією круга з використанням різних видів МОР та способу їх подачі в зону різання. Метою моделювання було визначити вплив зміни параметрів МОР (в'язкості, теплопровідності, вмісту масляних складових), швидкості її подання, тиску в зоні різання (гідравлічному клині), і відповідно, умов теплообміну на середню температуру оброблюваної поверхні деталі для встановлення можливості підвищення продуктивності процесу плоского шліфування за рахунок інтенсифікації режимних параметрів.

Для перевірки адекватності розробленої моделі були використані наведені у [1] експериментальні дані по визначенню комплексу параметрів процесу плоского шліфування загартованих сталей.

Спираючись на результати дослідження розробленої математичної моделі процесу теплообміну при плоскому чорновому шліфуванні сталевих загартованих деталей периферією круга можна зробити висновки:

1. Шляхом цілеспрямованого вибору параметрів шліфувального круга (зернистості, типу зв'язки), параметрів МОР (в'язкості, здатності до змочування робочої поверхні круга, теплопровідності, хімічної активності) та способу і інтенсивності її подачі в зону різання є можливість підвищити продуктивність чорнового шліфування до 20% відносно стандартно призначених режимних параметрів.

2. Покращення охолодження зони різання та оброблюваної деталі пов'язане, в першу чергу, з використанням ЗОР з низькою в'язкістю, підвищенням швидкості обертання шліфувального круга та напрямком подачі МОР.

Література:

1. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
2. Корчак С.Н., Шамин В.Ю. Физико-химическое взаимодействие СОЖ на производительность шлифования // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием: Сборник 2. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 50–53.
3. Кубасов П.У., Кутуев И.Ф., Бухановский В.Г., Баринев В.Е. Влияние смазочных свойств СОЖ на процесс шлифования // Вопросы теории действия смазочноохлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием: Сборник 2. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 54–59.
4. Белов М.А. Повышение качества шлифованных деталей из коррозионностойких сталей путем рационального применения технологических жидкостей: Автореферат дис. ... кан. техн. наук: 05.02.08 / Ульян. политехн. ин-т. Ульяновск, 1986. – 22 с.
5. Шипулин Л.В. Совершенствование методики проектирование операций

плоского шліфования периферией круга на основе комплексного моделирования процесса // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.

УДК 621.923

О.О. Буріков, асп.,
В.С. Майборода, д.т.н., проф.,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ХАРАКТЕР РОЗПОДІЛУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ОБРОБЦІ МАГНІТНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ У КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ

Магнітно-абразивна обробка (МАО) – це один із сучасних та перспективних методів для фінішної обробки деталей простих та складних форм. Метод відноситься до класу об'ємних способів оброблення і широко застосовується для полірування, зміцнення деталей складної конфігурації, таких як осьовий та кінцевий інструмент, лопатки ГТД, вироби медичного призначення. Одним із таких способів оброблення реалізується на установках типу «кільцева ванна» із кільцевим розташуванням робочих зон [1], в яких магнітне поле виконує роль віртуальної зв'язки при формуванні в процесі МАО частинок магнітно-абразивних порошків в робочий магнітно-абразивний інструмент. Ефективність процесу МАО в зазначених вище умовах безпосередньо пов'язана з характером розподілення магнітного поля в зонах оброблення. Саме тому інформація про зміну магнітної індукції в різних зонах робочих зазорів є досить важливою для реалізації високопродуктивного та сталого за технологічними параметрами процесу оброблення.

Було проведено серію вимірювань магнітної індукції у робочому зазорі кільцевої ванни із використанням мілітесламетра Ф 4355 із встановленим датчиком Холла. Схему вимірювань наведено на рис.1. Заміри величини магнітної індукції проводили не менше трьох разів для кожної із точок. Отриманий масив точок було відображено у вигляді топограм (рис.2–4), які показують розподіл магнітного поля у робочому зазорі із феромагнітною заготовкою, без заготовки та різниці між ними. Заготовка у вигляді циліндричного зразка діаметром 16 мм умовно зображено жовтим колом. Топограми будувались із використанням комп'ютерного програмного забезпечення «Surfer».

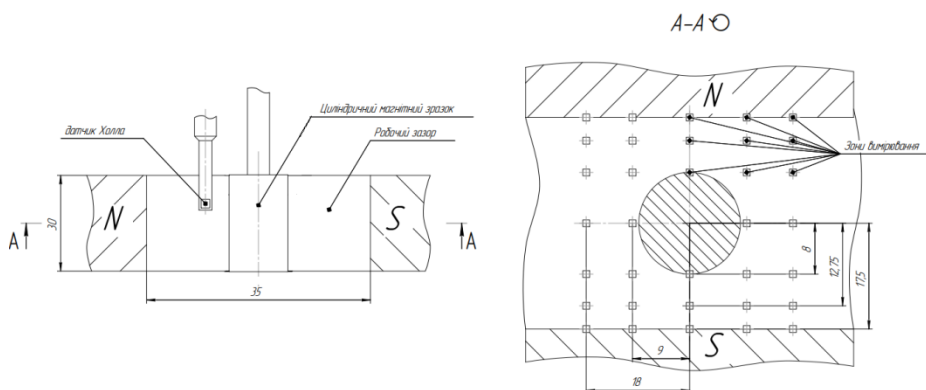


Рис. 1. Схема проведення вимірювань

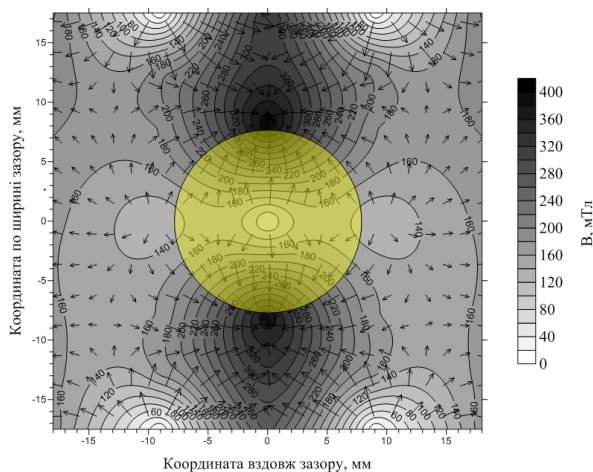


Рис. 2. Топограма характеристики розподілу магнітного поля у робочому зазорі із парамагнітним зразком

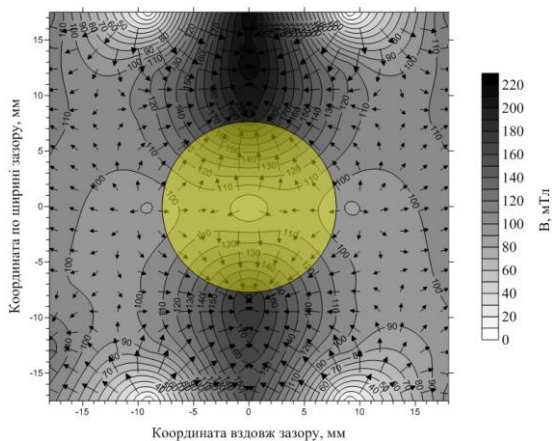


Рис. 3. Топограма характеристики розподілу магнітного поля у робочому зазорі із магнітним зразком

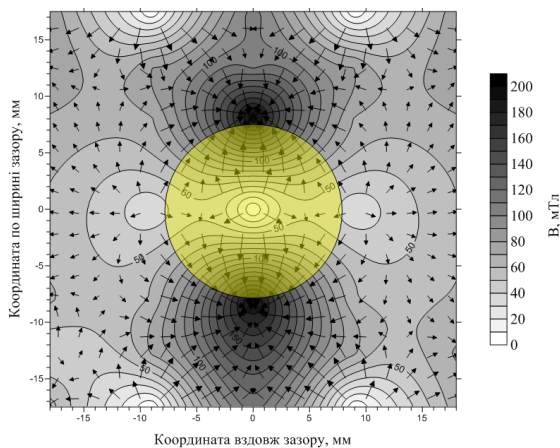


Рис. 4. Топограма різниці характеристик розподілу магнітного поля із парамагнітним та магнітним зразком

Отримані результати дозволяють отримати не тільки візуальне представлення зміни градієнту магнітного поля в робочому зазорі, а і числові параметри, які необхідні при визначенні особливостей позиціонуванні заготовок і умов керування магнітно-абразивним інструментом в процесі MAO для забезпечення найбільш раціонального процесу фінішного оброблення.

Література:

Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. Дис. ... докт.техн.наук. – Київ, 2001. – 404 с.

УДК 621.7.452

О.О. Лазарєва, ст. викл.,
Н.В. Сахнюк, к.т.н., доц.,
Національний університет «Запорізька політехніка»

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРІВ ГТД ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНІЙ ОБРОБЦІ

Застосування в авіадвигунобудуванні високошвидкісних багатоцільових верстатів призводить до можливості значного скорочення циклу обробки деталей за рахунок об'єднання операцій технологічних процесів, скорочення машинного часу обробки при застосуванні принципів і стратегій високошвидкісного різання, тощо. Основними особливостями деталей, що застосовуються у авіадвигунобудуванні є складна вихідна геометрія, високі вимоги до точності і шорсткості оброблених поверхонь.

Особливістю багатокоординатних фрезерних верстатів, які застосовуються для обробки складних фасонних поверхонь, є автоматизація формотворчих рухів за трьома взаємно перпендикулярним напрямом, крім цього, здійснюється поворот інструменту навколо двох взаємно перпендикулярних осей, що дозволяє вісь інструменту встановлювати в оптимальне становище для конкретного випадку обробки.

Формоутворення складнопрофільних поверхонь лопаток, є однією з найскладніших проблем сучасного двигунобудування. Цю проблему можна вирішити методом спірального високошвидкісного фрезерування, відповідно до якого профіль лопатки утворюють шляхом багатопрхідного огинання фрезою з постійним переміщенням по її висоті. При цьому в процесі фрезерування здійснюється точковий контакт інструменту і оброблюваної поверхні лопатки.

Метою досліджень було визначення закону руху заготовки та інструменту для керування процесом формоутворення поверхонь лопаток компресора високошвидкісним фрезеруванням на 5-ти координатному обробному центрі фірми Starrag моделі SX-051B/C.

При визначенні закону руху заготовки та інструменту при обробці заданої фасонної поверхні – пера лопатки компресора, вибирається форма і розмір вихідної інструментальної поверхні – різальний інструмент. Вибираємо відносно просту вихідну інструментальну поверхню, наприклад у формі сфери. Визначення закону руху заготовки та інструменту ґрунтується на тому, що в процесі обробки вихідна інструментальна поверхня повинна торкатися поверхні пера лопатки. У точках контакту нормалі і дотичні площини до поверхні лопатки і вихідної інструментальної поверхні повинні бути загальними.

Вважаємо, що обробка ведеться фрезою зі сферичною ріжучою частиною. Фреза обертається навколо своєї осі і своїми ріжучими крайками описує

вихідну інструментальну поверхню у формі кулі. Це рух кінематично не пов'язаний з іншими рухами і призводить до тертя вихідної інструментальної поверхні "самої по собі".

Поверхню лопатки описуємо як сплайн NURBS поверхню. Використовуючи функції NURBS поверхні, можемо визначити в будь-якій точці дотичні в U і V нормаль. З деталлю пов'язуємо прямокутну систему координат $X_dY_dZ_d$, і приймаємо, що F – вісь інструменту; B – точка контакту інструменту з деталлю; A – точка перетину осі інструменту зі сферою інструменту – розрахункова точка для формування траєкторії руху інструменту.

Положення фрези задаємо нахилами в U і V напрямках. Методом векторного перетворення знаходимо положення осі інструменту у вигляді проєкцій одиничного вектора в системі координат деталі. Далі знаходимо координати центру інструменту O і координати розрахункової точки інструменту A . В результаті першого етапу розрахунків отримуємо координати розрахункової точки A на інструменті в системі координат деталі X_a, Y_a, Z_a .

Наступним кроком необхідно перетворити проєкції вектора – осі інструменту в кути поворотних столів верстата, координати розрахункової точки A з системи координат деталі в систему координат верстата з компенсацією збільшень координат, що виникли при поворотах столів. В результаті отримуємо значення кутів поворотних осей і координати розрахункової точки інструменту A .

За цими формулами розраховуються переміщення S_1, S_2 столів A і B , а також переміщення S_3, S_4, S_5 інструменту щодо заготовки, які забезпечують обробку поверхонь пера лопатки.

Параметрами управління законом руху заготовки та інструменту при 5-ти координатному високошвидкісному фрезеруванні можуть бути: геометричні параметри інструменту; кути нахилу інструменту; відстані між точками в напрямку руху; відстань між рядками [1].

Отримані аналітичні залежності для управління процесом формоутворення поверхонь лопаток високошвидкісним фрезеруванням дозволяють розраховувати переміщення робочих столів і інструменту щодо заготовки для забезпечення необхідної точності обробки та розробляти керуючу програму.

Література:

1. Сахнюк Н.В., Грачев Ю.В., Качан А.Я. Определение траектории перемещения заготовки и инструмента для пятикоординатной высокоскоростной обработки поверхностей лопатки компрессора// Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. Запоріжжя. – №2. – 2007. – с. 139-141

УДК 621.923.4

С.А. Клименко, чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.,
С.Ан. Клименко, к.т.н.,
Ю.О. Мельничук, к.т.н.,
А.С. Манохін, к.т.н.,
А.Г. Найденко, к.т.н.,

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ ОСНАЩЕНИХ НОВИМИ ТИПАМИ КОМПОЗИТІВ З КНБ

З точки зору застосування PcbN при різанні важкооброблюваних сталей та сплавів основною проблемою є необхідність подальшої інтенсифікації режимів обробки, а саме збільшення швидкості різання. На даний час розроблені та знайшли застосування у найбільш сучасних технологіях механічної обробки два типи надтвердих композитів: з високим BN (>80%) та низьким BL (45–75%) вмістом надтвердої фракції з зерен cBN та зв'язкою на основі нітридів та карбідів тугоплавких металів (TiN, TiC, TiCN, VN, WN та інш.), а також Co, Al, AlN, Si₃N₄. Композити типу BN мають структуру, що характеризуються безперервним каркасом с зерен cBN розміром 5–10 мкм з міцним когезійним зв'язком на границях, що обумовлює високі механічні властивості такого типу матеріалів: твердість (32–38 ГПа), тріщиностійкість (8–12 МПа·м^{1/2}), міцність на загин до 1200 МПа. До таких композитів належать AMB90 і DBA80 («Element Six»), N90 «Megadiamond», серія MBR («Мікробор»), KB90 («Taegu Turn») BN100, BN600, BN700, BN800 («Sumitomo Electric»), Кіборит-1 та Борсиніт, виробництва ІНМ ім. Бакуля НАН України. Дані матеріали ефективні для умов динамічних навантажень, але швидко зношуються при затосуванні в діапазон високошвидкісного різання (200–250 м/хв) у зв'язку з інтенсивною хімічною взаємодією з оброблюваним матеріалом. Для уникнення цього ефекту розроблено BL тип композитів, керамічні матриці яких набагато стабільніші – навіть в умовах високих швидкостей і температур в контактній зоні не спостерігається дифузійного розчинення зерен зв'язок типу TiC та TiN, які виступають каркасом, що обмежує зношування основної надтвердої фази. Основним принципом побудови структури BL композитів є мінімально-можливий розмір зерен cBN (1–3 мкм) та дрібнозерниста матриця, що щільно облягає надтверду фазу.

За таким принципом в ІНМ НАН України розроблено низку експериментальних типів надтвердих композитів з кубічного нітриду бору. Порівняльну працездатність одержаних композитів при точінні загартованої сталі ШХ15 високої твердості 62–64 HRC оцінювали за результатами аналогічних випробувань стандартних пластин RNMN 09T300 (рис. 1) групи BL CBN100 (Seco, Швеція) з ~ 50 об.% CBN, WBN565 (Ceram Tec, Німеччина), Томал – 10 – двошарові пластини (Томілінський завод алмазного інструмента,

Росія), що містить окрім кубічного нітриду бора нітрид и діборид титана, мідь, інтерметаллід та пластин групи ВН типу борсиніт з 96,7 об.% cBN (ІНМ НАН України). При точінні із швидкостями різання 90–120 м/хв. швидкість зношування порівнювальних пластин суттєво не відрізняється і знаходиться на рівні 3–9 мкм/хв., а стійкість інструменту при досягненні величини зносу по задній поверхні $h_z = 0,4$ мм становить понад 60 хв.

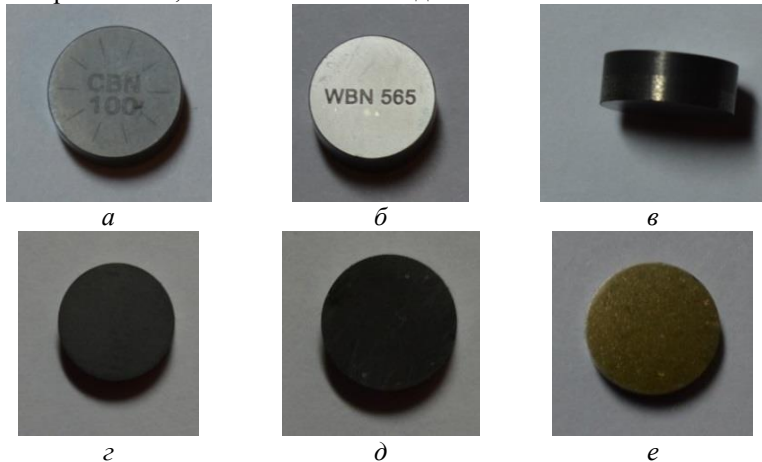


Рис. 1. Різальні пластини RNMN 09T300F (ISO 1832-2004): а – cBN100, б – WBN 565, в – Томал-10, г – пластина № 24, д – пластина № 25, е – пластина № 23

Із збільшенням швидкості різання до 140 м/хв. швидкість зношування пластин Томал-10 становить 30 мкм/хв., а при швидкостях різання 160 м/хв. такий різальний інструмент втрачає працездатність внаслідок швидкого руйнування різальної кромки.

Із збільшенням швидкості різання до $v = 175$ м/хв. зношування різальних пластин з борсиніту має край нестабільний та інтенсивний характер. Різке ступінчасте зростання сил P_z і P_y свідчить про утворення мікросколів на різальних кромках і контактних поверхнях інструменту. Дані реєстрації сил різання та визначення величини зносу при обробці пластинами cBN100, WBN565, № 23, № 24, № 25 вказують на відносно низьку швидкість зношування таких матеріалів при таких режимах різання.

При швидкостях різання до 220 м/хв. розроблені інструментальні матеріали групи BL зберігають високу працездатність, однак спостерігається інтенсифікація процесу зношування та зменшення стійкості інструменту. За таких умов збільшується ймовірність виходу з ладу інструменту внаслідок сколювання його різальної вершини до досягнення критичної величини зносу інструменту по задній поверхні. При обробці з високими швидкостями різання стружка нагрівається до надзвичайно високої температури і однією із головних умов проведення процесу точіння є безпечний і швидкий відвід стружки із зони обробки (рис. 2).

За отриманими даними побудовано залежність швидкості зношування дослідних пластин від швидкості різання (рис. 3), що вказує на перспективність застосування розроблених матеріалів групи BL при точінні загартованих сталей із високими швидкостями різання.



Рис. 2. Точіння із швидкістю різання $v = 250$ м/хв. заготовки із загартованої сталі ШХ15 (62 HRC) інструментом, оснащеним різальною пластиною RNMN 09T300F із партії № 24

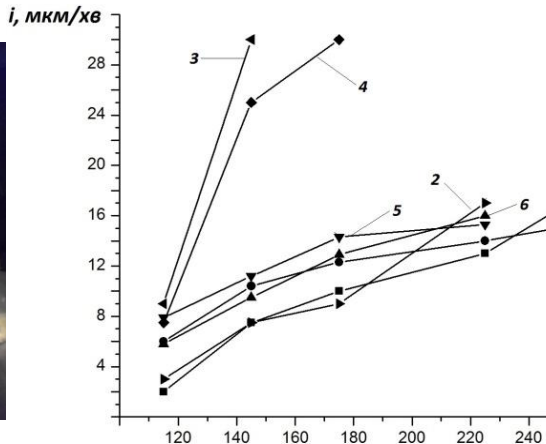


Рис. 3. Залежність швидкості зношування різальних пластин на основі cBN від швидкості різання при точінні сталі ШХ15 (62 HRC) ($S = 0,1$ мм/об, $t = 0,2$ мм): 1 – CBN100, 2 – WBN565, 3 – Томал-10, 4 – борсинит, 5 – пластина №23, 6 – пластина №25, 7 – пластина №24

УДК 621.9

С. І. Дядя, к.т.н., доц.,
О. Б. Козлова, к.т.н.,
Д. Р. Карамушка, студ.,
Національного університету «Запорізька політехніка»

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ БАГАТОЗУБИМ ІНСТРУМЕНТОМ В УМОВАХ ДІЇ АВТОКОЛИВАНЬ

Актуальною проблемою сьогодення є дбайливе використання ресурсів. В першу чергу це стосується виготовлення машинобудівної продукції, де у великій кількості задіяні як природні, так і людські, матеріальні, фінансові та інші види ресурсів. Для ощадливого їх використання в технологічному процесі

використовують багатоопераційні верстати з ЧПК, прогресивні різальні інструменти та режими різання. Все це підвищує продуктивність праці і скорочує використання ресурсів. Але при цьому окремим питанням стоїть вибір технологічних параметрів при обробці деталей в умовах дії автоколивань, характерних, зокрема, для кінцевого чорнового та напівчистового фрезерування тонкостінних деталей, таких як, лопатки моноколів ГТД. Вийти з зони дії автоколивань можливо за рахунок зменшення швидкості різання (частоти обертання шпинделя). Але при такому підході суттєво зменшується продуктивність обробки. Тому, при фрезеруванні з автоколиваннями в першу чергу орієнтуються на забезпечення точності та шорсткості оброблюваної поверхні, вимоги до яких закладаються в конструкторській та технологічній документації [1]. Одним із шляхів вирішення цього питання є використання багатозубих інструментів і визначення продуктивності обробки.

Частота обертання шпинделя – n залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та інструменту. Подача на зуб – S_z , радіальна – a_e та осьова – a_p глибини різання визначаються міцністю різального зуба фрези. З урахуванням цих обмежень підвищити продуктивність обробки можливо за рахунок збільшення числа зубів кінцевої фрези. При цьому треба знати їх вплив на шорсткість поверхні – Ra та розмірну точність. Остання залежить від хвилястості на поверхні різання, що завжди утворюється при фрезеруванні з автоколиваннями, і яка через спадковість переноситься на оброблену поверхню у вигляді кроку – S_w та висоти – W_z . Також при виборі параметрів фрези враховується ефективність різання, яка визначає, чи не було зроблено заріз у ту частину заготовки, яка повинна залишитися для чистової обробки.

При проведенні досліджень розрахунками [2] були підібрані умови фрезерування з автоколиваннями при частоті обертання шпинделя $n = 1250$ об/хв, радіальній глибині різання $a_e = 0,5$ мм, осьовій глибині $a_p = 4$ мм фрезами з 4-ма та 6-ма зубами, діаметром $d_{fp} = 16$ мм. Експерименти проводили на спеціальному стенді, який дозволяє імітувати як механічні властивості оброблюваного матеріалу, так і задавати відповідно до реальної деталі потрібні динамічні властивості [3].

За результатами експериментів можна зробити наступні висновки. При кінцевому фрезеруванні з автоколиваннями багатозубим інструментом при однакових умовах різання зі збільшенням кількості зубів спостерігається як збільшення продуктивності обробки, так і збільшення шорсткості обробленої поверхні. Але при обробці деталі з різною подачею на зуб та однаковою хвилинною подачею, спостерігається зменшення шорсткості поверхні, обробленої інструментом з більшим числом зубів. Також при цьому зменшується висота хвилястості на обробленій поверхні та ефективність різання, тобто в умовах автоколивань відбуваються менші зарізання в тіло деталі від налаштованої глибини.

Отримані результати показують, що на етапі технологічної підготовки, коли різання відбувається з автоколиваннями, за рахунок вибору інструменту за кількістю зубів можна забезпечити необхідну шорсткість поверхні і продуктивність обробки.

Література:

1. Свинин В. М. Фрезерование с модулированной скоростью резания / В. М. Свинин. Под ред. А. И. Промптова – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007, 304 с.
2. Козлова Е. Б. Определение времени резания одним зубом фрезы при финишном фрезеровании тонкостенного элемента детали / Е. Б. Козлова, Н. Н. Черновол : Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : тези доповідей XV Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. 4 – 7 листопада 2015 р., м. Житомир. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – С. 44 –47.
3. Пат. 103031 Україна, МПК (2006) G01N11/00, G01M7/02. Стенд для оцінки коливального процесу деталі при циліндричному фрезеруванні, Внуков Ю. М., Гермашев А. І., Кучугуров М. В., Дядя С. І., Козлова О. Б.; заявник та власник патенту ЗНТУ. – №u201506355 ; заявл. 26.06.2015 ; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

УДК 621

Т.Г. Джугурян, д.т.н., проф. ¹,
Т.Є. Божко, к.т.н., доц. ²,
В.І. Марчук, д.т.н., проф. ²,
І.В. Марчук, к.т.н., доц. ²,
Щецінська Морська академія, Польща ¹
Луцький національний технічний університет ²

ПРО ВПЛИВ УМОВ МІКРО – ТА НАНОРІЗАННЯ НА ЯКІСТЬ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ

Існує два визначення геометричної структури поверхні: перша з них – ширша, включає шорсткість, хвилястість, похибки форми та недоліки поверхні; друга – вужча, виходить зі значення поняття структури як сукупності елементів, що повторюються: шорсткість, хвилястість, а також дефекти поверхні.

Опираючись на накладені граничні умови, виділено адекватний стан об'єкта досліджень, виходячи з факту, що досліджувані величини мають свій певний фізичний сенс [1]. Значення цих величин також відзначали випадковістю прийнятих припущень, а саме:

- досліджувані величини носять характер дискретних змінних, а вибір їх числа і значень впливає з прийнятого методу оцінки стану процесу різання;
- значення досліджуваних величин повинні знаходитись в межах, для яких відсутній вплив вільних коливань.

Решта аналізованих в праці величин є функціональними зв'язками незалежних вхідних величин, які виникають безпосередньо в переліку взаємних зв'язків між ними.

Складові сили різання: P_z – колова, P_x – осьова і P_y – радіальна. Діючи на плечі відповідно l_0 , l_1 , l_2 , l_3 , l_b і l_h , ці сили в місцях закріплення тензометрів, а точніше, посередині довжини тензометрів викликають нормальні напруження, що описуються приведеними нижче залежностями:

$$\sigma_{T_0} = \frac{6 \cdot P_z \cdot l_0}{b \cdot h^2} - \frac{6 \cdot P_y \cdot l_h}{b \cdot h^2} - \frac{P_y}{b \cdot h} \quad (1)$$

$$\sigma_{T_1} = \frac{6 \cdot P_x \cdot l_1}{b^2 \cdot h} - \frac{6 \cdot P_y \cdot l_h}{b^2 \cdot h} - \frac{P_y}{b \cdot h} \quad (2)$$

$$\sigma_{T_2} = \frac{6 \cdot P_z \cdot l_2}{b \cdot h^2} - \frac{6 \cdot P_y \cdot l_h}{b \cdot h^2} - \frac{P_y}{b \cdot h} \quad (3)$$

$$\sigma_{T_3} = \frac{6 \cdot P_x \cdot l_3}{b^2 \cdot h} - \frac{6 \cdot P_y \cdot l_b}{b^2 \cdot h} - \frac{P_y}{b \cdot h} \quad (4)$$

Для виявлення впливу окремих сил на значення вимірюваних напружень, а тим самим оцінки точності і придатності застосованого методу для визначення значень сил проаналізовано числовий приклад, в якому прийняті наступні практично реалізовані значення вимірів:

Після підстановки приведених значень до залежностей (1) – (4), отримаємо:

$$36P_z - 11P_y = 1a^2\sigma_{T_0} \quad (5)$$

$$36P_x - 5P_y = 2a^2\sigma_{T_1} \quad (6)$$

$$-36P_z + 7P_y = 2a^2\sigma_{T_2} \quad (7)$$

$$-36P_x + P_y = 2a^2\sigma_{T_3} \quad (8)$$

Література:

1. Якимов, А. В. Прерывистое шлифование / А. В. Якимов. – К.: Вища школа, 1986. – 175 с.
2. Марчук В.І. До аналізу джерел та причин походження вібрацій в конічних роликопідшипниках / В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеіві, М.В. Олексин / Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямком “Інженерна механіка”). Вип. 59. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 184–192.
3. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). – С. 111–119.

M. Pjević, ass. prof.,
L. Tanović, prof.,
M. Popović, ass. prof.,
University of Belgrade, Serbia

STATE OF THE ART OF MICRO-CUTTING

Optimizing each processing process requires a clear knowledge of the mechanisms by which it takes place. In the case of steel processing by cutting, in the middle of the 1940s, a clear model was established according to which the process of chip formation takes place [1, 2]. Based on this model, it was later possible to optimize machining [3-7], with the aim of more efficient steel machining in terms of time spent, better machined surface quality and increased tool life. The established chip formation mechanism is valid only in the case when processing homogeneous materials, materials that are not brittle in nature and where the value of cutting depth is significantly higher than the value of the tool radius, thus its influence on the machining process can be neglected.

When it comes to micro-cutting, there are two approaches by which it is defined [8]:

First approach:

- micro-cutting is a set of all operations that are performed on components of micro/meso dimensions and products in the range of 100 μm up to 10 mm;
- micro-cutting characterizes the requirements for the production of high-precision products, complex geometric shapes from a wide range of materials in a defined range of measures;
- micro-cutting involves the use of special tools (micro tools with a diameter of $50 \div 500 \mu\text{m}$), small chip thickness (submicron to several micrometers) and speed ($50\text{k} \div 200\text{k min}^{-1}$).

As a consequence, the main difference between micro and macro-cutting is the dominance of sliding and scratching over shear and the need to take micro-structural effects into account.

Second approach:

The definition of micro-cutting from the point of view of chip thickness dimensions can be classified into:

- Macro: machining in conventional modes where the thickness of the chip is an order of magnitude greater than the tool tip radius and the process is dominated by shear. In doing so, the micro-structural effects can be neglected. The value of chip thickness is above 10 μm ;
- Micro/meso: this processing is characterized by the dominance of scratching, friction, elastic and plastic deformation with the conclusion that the tool tip radius is approximately equal to the thickness of the chip. The thickness of the chip ranges from sub micro to several micrometers;

- Nano: this term is usually associated with ultra-precision machining with diamond tools that have the ability to sharpen without a radius or with a small tip radius so that the thickness of the chip can be in the nanometer range.

Industries such as automotive, special purpose, food and others, not infrequently need to introduce newer, more modern materials during product design, and later their production from them. Materials such as various types of glass, ceramics or stone-based materials are on the list of materials often used in the mentioned industries. They have found application from MEMS systems to various types of lenses, and even moving elements that must have good thermal properties and wear resistance. These materials, which are brittle in nature, are classified as very desirable, thanks to their high hardness and good thermal characteristics. However, the introduction of materials of this type in various industries, regardless of all its positive characteristics, has its downsides, which are the difficult machinability of these materials, as well as insufficient knowledge of the mechanisms by which it takes place.

Due to its hardness, the processing of brittle materials takes place at much smaller depths compared to materials that have more pronounced plastic properties. By reducing the cutting depth to one millimeter or less, the machining process shifts from the macro domain to the micro-cutting domain. When it comes to micro-cutting, it can be said that the set cutting mechanisms are no longer valid. Among the main causes are some of the factors such as: pronounced brittleness of the material being processed, rounding of the tool tip whose radius in this case is greater than the depth of cut and inhomogeneity (heterogeneity) of the material being processed. The mechanism of micro-cutting of brittle materials, which by its nature clearly defines the process of chip formation and the conditions under which it takes place, is still not clearly and precisely defined.

What is additionally interesting is that although the mentioned types of materials are brittle in nature, they can be processed in the so-called plastic deformation regime (ductile mode), where the processing is performed without the presence of destruction [9-13]. In the ductile mode, no separation of the material is noticed, but the complete processing takes place thanks to the return elastic and plastic deformations. This type of processing is desirable because it does not require post-treatment to ensure a smooth, transparent surface, or even to remove residual cracks that occur during the cutting process, which could jeopardize the integrity of the structure itself.

Not so long ago, more complex research in the field of micro-cutting was started. All this research is conducted in three basic directions:

- identification of the indentation process under static and dynamic force and the micro-cutting process;
- examination of the influence of the kinematics of the micro-cutting process on the machinability of brittle materials;
- examination of the influence of tool geometry on the micro-cutting process.

Identification of the indentation process under static and dynamic force and the micro-cutting process

In order to clarify the phenomena that occur during the micro-cutting process, the researchers conducted indentation experiments under static and dynamic indentation force, and the micro-cutting (scratching) process with an appropriate cutting tool. The main goal of these experiments was to: explain the mechanism of chip formation, to reach the value of the critical depth of tool penetration, to determine the values of force intensity and specific energy of micro-cutting as a function of tool geometry, speed and depth of micro-cutting.

Unlike materials with pronounced plasticity, where during micro cutting the material is separated in the form of extrusion [14-24], in brittle materials this process takes place by the mechanism of brittle destruction. The process of brittle destruction takes place through the phenomenon of cracking in the cutting zone, then the separation of parts of the material, accompanied by the appearance of crushing of the material. Research aimed at examining the shape and manner of crack formation within the material dates back to the mid-1970s [25-29]. Cracks that form in the cutting zone can be classified into three basic forms:

- medial cracks,
- lateral cracks,
- radial cracks.

Prediction of the intensity of material destruction, i.e., crack growth during the micro-cutting process is necessary for the formation of a valid micro-cutting mechanism. Residual cracks and their unwanted growth within the material can lead to significant side effects. Their presence within the material after the processing process can affect the integrity of the structure, while their uncontrolled growth can lead to undesirable quality of the machined surface. One of the methods for predicting crack length was presented by B.R. Lawn and M.V. Swain [30]. Their research was based on the indentation of indenter under static force. By processing the experimental results using the "Boussinesq" method, they found that there is a proportionality between the values of the indentation force and the crack length that occur within the material during and after the indentation process.

Further research B.R. Lawn conducted with his associates [28, 29, 31-33], found that the residual stresses present within the material after the completion of the indentation process are responsible for the further growth of the medial cracks and after the unloading of the material. One of the causes of residual stresses is the heterogeneity of the material being processed. More precisely, the different hardness of the minerals of which the material is composed can be the initiator for residual stresses. The same conclusions were reached in research [34, 35].

A. Chandra et al [36] presented their model for predicting material destruction. Experimental analysis confirmed the great matching of the model with the obtained values. However, what must be singled out, and what has been established by their research, is that the growth of lateral cracks occurs during the unloading of the material. On the other hand, B.R. Lawn and A.G. Evans [27] presented a model for predicting the growth of medial/radial cracks that provides a functional relationship

between the size of the critical value of the crack and the indentation force, necessary for the continuation of further crack growth.

In addition to the method of indentation under static force, in previous research, the method of scratching was also used. The main difference between this method and the indentation is that due to the interaction of the tool and the workpiece, both the normal (F_n) and tangential (F_t) components of the cutting force occur. Experiments based on the method of scratching [37, 38], aimed to establish the relationship between the range of plastic deformation depending on the processing parameters, i.e., the relationship between the ductile mode and cutting speed.

All these researches have a similar goal, and that is to find and describe precise mechanisms that explain the phenomena created in the process of micro-cutting of brittle materials. S. Malkin and T.W. Hwang [39].

In the micro-cutting mechanism itself, a very important influencing factor is the depth of cut, and the influence of elastic deformations of the material. The depth of cut is in direct correlation with the cutting mode (ductile or brittle fracture mode) in which the micro-cutting process takes place. This has the consequence that the amount of material removed in the process of micro-cutting of brittle materials is a direct function of the depth of tool penetration. G. Subhash et al. [40] tried to find a method that can be used to determine the mode in which processing is currently performed. The research was based on the analysis of the values of forces that occur during micro-cutting using the "data dependent system (DDS)" method. The main goal was to determine which of the two modes is currently being processed, depending on the intensity and character of the cutting force.

A clearer picture of crack formation and shear planes during the micro-cutting process was examined by D. Ghost et al. [41] using a combined "Boussinesq" and "Cerruti - field solution" method. The experiments were performed on Zirconium Diboride-Silicon Carbide composite material. In addition to these studies, R. Anton [42] and D. Ghost [43] conducted a similar analysis, but on a different material, with the aim of determining the change in mechanical properties of the material during indentation under static and dynamic force.

Researchers [44-48] based their experiments on the development of a mathematical model of micro-cutting of brittle materials. By implementing these algorithms in software packages, which deal with finite element methods, the possibility of predicting the phenomena that occur during the micro-cutting process is realized.

Examination of the influence of the kinematics of the micro-cutting process on the machinability of brittle materials

In the 1950s of the last century, research on the influence of tool trajectory on the machinability of materials began [49, 50]. However, expansion in this area began only in the 1990s when T. Moriwaki et al [51, 52] conducted a micro-cutting experiment with oscillatory tool movement. It was then determined that in relation to conventional cutting of brittle materials, where the tool performs a relatively rectilinear movement in relation to the workpiece, the range of ductile mode can be increased by applying vibratory (oscillatory) movement of the tool. This has also been confirmed in research [53-55]. This type of micro-cutting leads to a decrease in

the intensity of forces that occur during the machining process, as shown by M. Zhou et al. [56].

V.K. Astashev and V.I. Babitsky [57] came up with a mathematical model that arrives at the value of the cutting force intensity as a function of the vibrational micro-cutting parameters.

Micro cutting, in which the tool achieves a complex oscillatory movement, requires a special tool geometry in order to achieve the desired movement. Among the first to develop such a system were L. Hahn and co-workers [58]. Their system is specific in that it has the possibility of error compensation. However, one of the problems that occurs with this type of micro-cutting is keeping the tool in a resonant state if there is a change in the intensity of the cutting forces. V. I. Babitsky et al [59] developed a mechatronic system by which the tool is maintained in a resonant state regardless of the change in the value of the cutting force intensity.

Although the oscillatory movement of the tool increases its lifespan, due to the intense friction between the flank surface of the tool and the machined surface of the workpiece, more intensive wear of the flank surface occurs. By changing the direction of oscillation of the tool, which avoids contact of the tool with the workpiece in the return, and to a large extent in the working stroke, there is an additional increase in tool lifespan, as shown by M. Jin and M. Murakawa [60].

T. Moriwaki and E. Shamoto [61-63] conducted an upgraded vibration cutting experiment, the so-called elliptical vibration cutting. For the purposes of this type of experiment, where the tool achieves vibrational elliptical motion, a special tool system was developed and presented by E. Shamoto [64]. In order to obtain greater flexibility during the performance of experiments, the developed system had the possibility of independently defining the oscillation amplitudes in two directions, which achieves the desired orientation of the tool oscillation. This type of micro-cutting has determined that the service life of the tool increases in relation to the rectilinear vibratory micro-cutting. Also, during machining of grooves in brittle materials with elliptical movement of the tool, a better geometry of the groove is achieved in relation to the processing where the tool performs a rectilinear oscillatory movement [65].

Processing of materials with pronounced plastic properties is characterized by obtaining a better-quality surface [66]. N. Suzuki and co-workers [67] by applying the elliptical movement of the tool managed to realize the processing of molds for casting lenses made of Wolfram alloys, which was not feasible until that moment. On the other hand, C. Ma et al [68] found that scraping achieves better machining accuracy compared to conventional scraping, even when the tool achieves rectilinear oscillatory motion. In addition, this eliminates the possibility of cracking at the edges of the workpiece [69].

The values of the force intensities that occur in the contact of the tool that achieves the oscillatory elliptical motion and the workpiece are reduced in comparison with the values of the force intensities in the conventional movement of the tool. Models for precise prediction of force intensity have been presented by both N. Negishi [70] and C. Ma [68, 69].

N. Suzuki and co-workers [71] developed a system for controlling the depth of cut with the help of oscillation amplitude variation. This method has increased the efficiency of such a system. The development of similar systems can be found in other researchers [72, 73].

Examination of the influence of tool geometry on the micro-cutting process

In addition to examining the effect of forces during the process of indentation/micro-cutting, as well as the process of material separation, research has focused on examining the influence of tool or indenter geometry on the process of micro-cutting/material separation. Unlike macro-cutting, where the depth of cut is significantly greater than the value of the tool tip radius, and therefore its impact can be neglected, this is not the case with micro-cutting. The rounding of the tool tip is a very influential factor that affects the micro-cutting process itself, bearing in mind that the value of its radius is greater than the value of the depth at which the tool penetrates the material. As a consequence, the value of the rake angle of the tool changes, which is a function of the depth of cut and the value of the tool tip radius. The change in the value of the rake angle has a direct impact on the increase or decrease of compressive stresses in the cutting zone, as a result of which the process of chip formation can differ in different zones of cutting depth.

Examining the influence of tool geometry on the micro-cutting process has been far more investigated on materials with pronounced plastic properties, compared to materials that are brittle in nature.

Z.J. Yuan [74] examined in detail the influence of the tool tip radius value on the critical penetration depth for a material with pronounced plastic properties. He primarily based his research on the observation of the dependence of the critical depth that leads to the formation of chip in the form of extrusion from the value of the tool tip radius. It turned out that a tool with a smaller value of the tool tip radius leads to a reduction of the limit below which there is no separation of material. Below the critical values of the depth of micro-cutting, the material is elastically and plastically deformed. This can be explained by the change in the effective value of the rake angle proved by Z. Fang in his work [75]. His research has shown that the effective value of the rake angle, which is a function of the value of the depth of cut and the tool tip radius, has a significant influence on the direction of propagation of the stress field within the material. Many subsequent studies have been conducted on a similar topic [76-82].

Changing the geometry of the tool tip, i.e., the value of the tool tip radius, can have a great impact on the intensities of forces that occur during the machining process, and thus a direct impact on tool wear during the machining process [83]. With this in mind, part of the research in the field of micro-cutting is focused on the development of a mathematical model for the prediction of forces arising in the cutting zone. One such study is that conducted by G. Bissacco et al. [84] whose presented model took into account the value of the tool tip radius. On the other hand, research conducted by M. Malekian et al. [85], formed a model of force prediction in which, in addition to the value of the tool tip radius, the influence of elastic return of material is incorporated. Research related to the formation of force prediction models

in micro-cutting using the finite element method can also be found in the literature [86].

The geometry of the tool tip can also have a significant effect on the geometry of the machined surface. If we are talking about grooving by the method of scratching, different tool geometries lead to a change in the geometry of the formed groove. One such study was conducted by D. Axinte et al. [87] On the other hand, the value of the tool tip radius can have a great influence on the size of the burrs that are formed on the edges of the surface. Decreasing the value of the ratio of the depth of micro-cutting and the value of the tool tip radius, leads to an increase in the value of the raised edge along the trace of micro-cuts [88, 89].

Micro cutting of stone-based materials

Stone-based materials such as granite or marble are difficult to process. Their pronounced brittleness and high hardness, which is also variable within the entire volume, have a great influence on the processing of these materials. The variability of the hardness values of these materials leads to the complexity of choosing the optimal machining parameters, such as depth and cutting speed, which results in machining inefficiencies in the domain of tool consumption and obtaining the desired surface quality. If we take into account the increasing use of stone-based materials, as well as their huge potential for wider application, more intensive research in the field of machinability of these materials becomes justified.

As already mentioned, the main goal in micro-cutting of brittle materials is to obtain a finely machined surface without the presence of traces of material destruction. H. Huang et al [90] found in their research that granite, although brittle in nature, can be processed in a ductile mode, thus obtaining a high-gloss surface. Also, they came to the conclusion that with the increase of plastic deformations in the cutting zone, the roughness of the machined surface decreases. In their research, similar conclusions were reached by the authors [91].

Although there is a large variation in hardness within the entire volume of granite due to its heterogeneous composition, the hardness can additionally differ between different types (varieties) of granite, due to the different minerals from which they are formed. Research has shown that different material properties, such as hardness, can affect the range of ductile mode [76, 92-94]. A model that would take this into account, and which would serve to determine the optimal processing parameters based on the value and variation of the hardness of the material, was presented by J. Xie and J. Tamaki [95]. They came to it on the basis of experiments conducted on ten different types of granite. On the other hand, Y. Li et al. [96] presented a new method of granite processing that increases the durability of tools by having a specially designed tool geometry to influence the friction that occurs during tool-workpiece interactions.

Marble, in addition to granite, is one of the most present stone-based materials with increasing application in industry. Similar to granite, by its nature, marble is a very brittle material with a heterogeneous structure. Depending on the type of minerals that are part of marble, its hardness can vary significantly. In previous research, marble, like most other brittle materials, can be processed in both the brittle

fracture mode and the ductile mode [97], however, a small number of studies on this topic have been published so far.

References:

1. Merchant, M. Eugene. "Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip." *Journal of applied physics* 16.5 (1945): 267-275.
2. Merchant, M. Eugene. "Mechanics of the metal cutting process. II. Plasticity conditions in orthogonal cutting." *Journal of applied physics* 16.6 (1945): 318-324.
3. Guzel, B. U., and I. Lazoglu. "Increasing productivity in sculpture surface machining via off-line piecewise variable feedrate scheduling based on the force system model." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 44.1 (2004): 21-28.
4. Ip, Ralph WL, Henry CW Lau, and Felix TS Chan. "An economical sculptured surface machining approach using fuzzy models and ball-nosed cutters." *Journal of Materials Processing Technology* 138.1-3 (2003): 579-585.
5. Li, Z. Z., et al. "A solid model-based milling process simulation and optimization system integrated with CAD/CAM." *Journal of Materials Processing Technology* 138.1-3 (2003): 513-517.
6. Wang, Wen Ping. "Solid modeling for optimizing metal removal of three-dimensional NC end milling." *Journal of Manufacturing Systems* 7.1 (1988): 57-65.
7. Yazar, Zeki, et al. "Feed rate optimization based on cutting force calculations in 3-axis milling of dies and molds with sculptured surfaces." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 34.3 (1994): 365-377.
8. Tanović. Lj. "Current investigation in the field of micro-grinding." *Proceedings of the XIV International Conference Maintenance And Production Engineering "KODIP-2014", Engineering Academy of Montenegro* (2014): 29-35.
9. Liu, K., X. P. Li, and M. Rahman. "Characteristics of high speed micro-cutting of tungsten carbide." *Journal of Materials Processing Technology* 140.1-3 (2003): 352-357.
10. Kim, Jeong-Du, and In-Hyu Choi. "Micro surface phenomenon of ductile cutting in the ultrasonic vibration cutting of optical plastics." *Journal of materials processing technology* 68.1 (1997): 89-98.
11. Nakasuji, T., et al. "Diamond turning of brittle materials for optical components." *CIRP annals* 39.1 (1990): 89-92.
12. Yan, Jiwang, Katsuo Syoji, and Jun'ichi Tamaki. "Some observations on the wear of diamond tools in ultra-precision cutting of single-crystal silicon." *Wear* 255.7-12 (2003): 1380-1387.
13. Arif, Muhammad, Mustafizur Rahman, and Wong Yoke San. "Ultraprecision ductile mode machining of glass by micromilling process." *Journal of Manufacturing Processes* 13.1 (2011): 50-59.
14. Simoneau, A., E. Ng, and M. A. Elbestawi. "Chip formation during microscale cutting of a medium carbon steel." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46.5 (2006): 467-481.

15. Simoneau, A., E. Ng, and M. A. Elbestawi. "The effect of microstructure on chip formation and surface defects in microscale, mesoscale, and macroscale cutting of steel." *CIRP annals* 55.1 (2006): 97-102.
16. Simoneau, A., Elbestawi Ng, and M. A. Elbestawi. "Surface defects during microcutting." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46.12-13 (2006): 1378-1387.
17. Liu, Kai, and Shreyes N. Melkote. "Finite element analysis of the influence of tool edge radius on size effect in orthogonal micro-cutting process." *International Journal of Mechanical Sciences* 49.5 (2007): 650-660.
18. Simoneau, A., E. Ng, and M. A. Elbestawi. "Grain size and orientation effects when microcutting AISI 1045 steel." *CIRP annals* 56.1 (2007): 57-60.
19. Subbiah, Sathyan, and Shreyes N. Melkote. "Effect of finite edge radius on ductile fracture ahead of the cutting tool edge in micro-cutting of Al2024-T3." *Materials Science and Engineering: A* 474.1-2 (2008): 283-300.
20. Woon, K. S., et al. "Investigations of tool edge radius effect in micromachining: a FEM simulation approach." *Journal of materials processing technology* 195.1-3 (2008): 204-211.
21. Zhou, Jun, et al. "The influence of tool edge radius on size effect in orthogonal micro-cutting process of 7050-t7451 aluminum alloy." *Key Engineering Materials*. Vol. 375. Trans Tech Publications Ltd, 2008.
22. Ducobu, F., E. Filippi, and E. Rivière-Lorphèvre. "Chip formation and minimum chip thickness in micro-milling." *Proceedings of the 12th CIRP conference on modeling of machining operations*. Vol. 1. 2009.
23. Woon, K. S., and M. Rahman. "Extrusion-like chip formation mechanism and its role in suppressing void nucleation." *CIRP annals* 59.1 (2010): 129-132.
24. Zhanqiang, Liu, Shi Zhenyu, and Wan Yi. "Definition and determination of the minimum uncut chip thickness of microcutting." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 69.5 (2013): 1219-1232.
25. Lawn, Brian, and Rodney Wilshaw. "Indentation fracture: principles and applications." *Journal of materials science* 10.6 (1975): 1049-1081.
26. Evans, A. G., and To R. Wilshaw. "Quasi-static solid particle damage in brittle solids—I. Observations analysis and implications." *Acta Metallurgica* 24.10 (1976): 939-956.
27. Lawn, B. R., and A. G. Evans. "A model for crack initiation in elastic/plastic indentation fields." *Journal of Materials Science* 12.11 (1977): 2195-2199.
28. Marshall, D. B., and Brian R. Lawn. "Residual stress effects in sharp contact cracking: Part 1: Indentation fracture mechanics." *Journal of Materials Science* 14.8 (1979): 2001-2012.
29. Marshall, D. B., Brian R. Lawn and P. Chantikul. "Residual stress effects in sharp contact cracking: Part 2: Strength degradation." *Journal of Materials Science* 14.8 (1979): 2225-2235.
30. Lawn, B. Ro, and M. V. Swain. "Microfracture beneath point indentations in brittle solids." *Journal of materials science* 10.1 (1975): 113-122.

31. Marshall, D. B., B. R. Lawn, and A. G. Evans. "Elastic/plastic indentation damage in ceramics: the lateral crack system." *Journal of the American Ceramic Society* 65.11 (1982): 561-566.
32. Lawn, B. R., and E. R. Fuller. "Equilibrium penny-like cracks in indentation fracture." *Journal of Materials Science* 10.12 (1975): 2016-2024.
33. Lawn, Brian R., A. G. Evans, and D. B. Marshall. "Elastic/plastic indentation damage in ceramics: the median/radial crack system." *Journal of the American Ceramic Society* 63.9-10 (1980): 574-581.
34. Marshall, David B. "Controlled flaws in ceramics: a comparison of Knoop and Vickers indentation." *Journal of the American Ceramic Society* 66.2 (1983): 127-131.
35. Marshall, David B. "Geometrical effects in elastic/plastic indentation." *Journal of the American Ceramic Society* 67.1 (1984): 57-60.
36. Chandra, A., et al. "Role of unloading in machining of brittle materials." *J. Manuf. Sci. Eng.* 122.3 (2000): 452-462.
37. Stojadinovic, Slavenko, Ljubodrag Tanovic, and Sreten Savicevic. "Micro-cutting mechanisms in silicon nitride ceramics Silinit R grinding." *中國機械工程學刊* 36.4 (2015): 291-297.
38. Mladenovic, G., et al. "Experimental investigation of microcutting mechanisms in oxide ceramic CM332 grinding." *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 137.3 (2015).
39. Malkin, S., and T. W. Hwang. "Grinding mechanisms for ceramics." *CIRP annals* 45.2 (1996): 569-580.
40. Subhash, Ghatu, Josh E. Loukus, and Sudhakar M. Pandit. "Application of data dependent systems approach for evaluation of fracture modes during a single-grit scratching." *Mechanics of materials* 34.1 (2002): 25-42.
41. Ghosh, Dipankar, et al. "Scratch-induced microplasticity and microcracking in zirconium diboride–silicon carbide composite." *Acta Materialia* 56.13 (2008): 3011-3022.
42. Anton, Richard J., and Ghatu Subhash. "Dynamic Vickers indentation of brittle materials." *Wear* 239.1 (2000): 27-35.
43. Ghosh, Dipankar, et al. "Dynamic indentation response of fine-grained boron carbide." *Journal of the American Ceramic Society* 90.6 (2007): 1850-1857.
44. Ueda, K., et al. "A J-integral approach to material removal mechanisms in microcutting of ceramics." *CIRP annals* 40.1 (1991): 61-64.
45. Inamura, Toyoshiro, et al. "Brittle/ductile transition phenomena observed in computer simulations of machining defect-free monocrystalline silicon." *CIRP Annals* 46.1 (1997): 31-34.
46. Subbiah, Sathyan, and Shreyes N. Melkote. "Evidence of ductile tearing ahead of the cutting tool and modeling the energy consumed in material separation in micro-cutting." (2007): 321-331.
47. Chiaia, Bernardino. "Fracture mechanisms induced in a brittle material by a hard cutting indenter." *International Journal of Solids and structures* 38.44-45 (2001): 7747-7768.

48. Tan, Yuanqiang, Dongmin Yang, and Yong Sheng. "Study of polycrystalline Al₂O₃ machining cracks using discrete element method." International Journal of Machine Tools and Manufacture 48.9 (2008): 975-982.
49. Colwell, L. V. "The effects of high-frequency vibrations in grinding." Trans. ASME 78.4 (1956): 837.
50. Dohmen, Hans-Gerd. Zerspanungsuntersuchungen beim drehen mit periodisch bewegtem schneidwerkzeug. Diss. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1964.
51. Moriwaki, Toshimichi, and Eiji Shamoto. "Ultraprecision diamond turning of stainless steel by applying ultrasonic vibration." CIRP annals 40.1 (1991): 559.
52. Moriwaki, Toshimichi, Eiji Shamoto, and Kenji Inoue. "Ultraprecision ductile cutting of glass by applying ultrasonic vibration." CIRP annals 41.1 (1992).
53. Zhou, Ming, et al. "Brittle-ductile transition in the diamond cutting of glasses with the aid of ultrasonic vibration." Journal of Materials Processing Technology 121.2-3 (2002): 243-251.
54. Gan, J., et al. "Ultraprecision diamond turning of glass with ultrasonic vibration." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 21.12 (2003): 952-955.
55. Liu, K., et al. "Study of ductile mode cutting in grooving of tungsten carbide with and without ultrasonic vibration assistance." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 24.5 (2004): 389-394.
56. Zhou, Ming, et al. "Vibration-assisted precision machining of steel with PCD tools." Materials and manufacturing processes 18.5 (2003): 825-834.
57. Astashev, V. K., and V. I. Babitsky. "Ultrasonic cutting as a nonlinear (vibro-impact) process." Ultrasonics 36.1-5 (1998): 89-96.
58. Han, Liang, Weiliang Xu, and Shiu Kit Tso. "Ultrasonically assisted and piezoelectric actuators integrated cutting tool." Japanese journal of applied physics 37.8R (1998): 4616.
59. Babitsky, V. I., A. N. Kalashnikov, and F. V. Molodtsov. "Autoresonant control of ultrasonically assisted cutting." Mechatronics 14.1 (2004): 91-114.
60. Jin, Masahiko, and Masao Murakawa. "Development of a practical ultrasonic vibration cutting tool system." Journal of materials processing technology 113.1-3 (2001): 342-347.
61. Shamoto, Eiji, and Toshimichi Moriwaki. "Study on elliptical vibration cutting." CIRP annals 43.1 (1994): 35-38.
62. Moriwaki, Toshimichi, and Eiji Shamoto. "Ultrasonic elliptical vibration cutting." CIRP annals 44.1 (1995): 31-34.
63. Shamoto, Eiji, and Toshimichi Moriwaki. "Ultraprecision diamond cutting of hardened steel by applying elliptical vibration cutting." CIRP Annals 48.1 (1999): 441-444.
64. Shamoto, Eiji, et al. "Development of ultrasonic elliptical vibration controller for elliptical vibration cutting." CIRP Annals 51.1 (2002): 327-330.
65. Lee, Jun-Seok, et al. "A study on micro-grooving characteristics of planar lightwave circuit and glass using ultrasonic vibration cutting." Journal of materials processing technology 130 (2002): 396-400.

66. Ahn, Jung-Hwan, Han-Seok Lim, and Seong-Min Son. "Improvement of micro-machining accuracy by 2-dimensional vibration cutting." *Proc ASPE*. Vol. 20. 1999.
67. Suzuki, N., et al. "Elliptical vibration cutting of tungsten alloy molds for optical glass parts." *CIRP annals* 56.1 (2007): 127-130.
68. Ma, Chunxiang, et al. "Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 44.12-13 (2004): 1305-1310.
69. Ma, Chunxiang, et al. "Suppression of burrs in turning with ultrasonic elliptical vibration cutting." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45.11 (2005): 1295-1300.
70. Negishi, Nobuhiko. "Elliptical vibration assisted machining with single crystal diamond tools." (2003).
71. Suzuki, Norikazu, Hideo Yokoi, and Eiji Shamoto. "Micro/nano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting." *Precision Engineering* 35.1 (2011): 44-50.
72. Overcash, J. "Development of a tunable ultrasonic vibration-assisted diamond turning instrument." *Proc ASPE*. Vol. 30. 2003.
73. Li, Xun, and Deyuan Zhang. "Ultrasonic elliptical vibration transducer driven by single actuator and its application in precision cutting." *Journal of materials processing technology* 180.1-3 (2006): 91-95.
74. Yuan, Z. J., M. Zhou, and S. Dong. "Effect of diamond tool sharpness on minimum cutting thickness and cutting surface integrity in ultraprecision machining." *Journal of Materials Processing Technology* 62.4 (1996): 327-330.
75. Fang, F. Z., H. Wu, and Y. C. Liu. "Modelling and experimental investigation on nanometric cutting of monocrystalline silicon." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45.15 (2005): 1681-1686.
76. Son, Seong Min, Han Seok Lim, and Jung Hwan Ahn. "Effects of the friction coefficient on the minimum cutting thickness in micro cutting." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45.4-5 (2005): 529-535.
77. Lai, Xinmin, et al. "Modelling and analysis of micro scale milling considering size effect, micro cutter edge radius and minimum chip thickness." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 48.1 (2008): 1-14.
78. Bissacco, Giuliano, Hans Nørgaard Hansen, and Leonardo De Chiffre. "Micromilling of hardened tool steel for mould making applications." *Journal of Materials Processing Technology* 167.2-3 (2005): 201-207.
79. Aramcharoen, A., and P. T. Mativenga. "Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel." *Precision Engineering* 33.4 (2009): 402-407.
80. Özel, T., X. Liu, and A. Dhanorker. "Modelling and simulation of micro-milling process." *4th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds*. 2007.
81. Lee, Kiha, and David A. Dornfeld. "Micro-burr formation and minimization through process control." *Precision Engineering* 29.2 (2005): 246-252.

82. Woon, K. S., et al. "The effect of tool edge radius on the contact phenomenon of tool-based micromachining." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 48.12-13 (2008): 1395-1407.
83. Elkaseer, A. M., et al. "Material microstructure effect-based investigation of tool wear in micro-endmilling of multi-phase materials." *Proceedings of the 7th International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, Bourg en Bresse and Oyonnax, France.* 2010.
84. Bissacco, Giuliano, Hans Nørgaard Hansen, and J. Slunsky. "Modelling the cutting edge radius size effect for force prediction in micro milling." *CIRP annals* 57.1 (2008): 113-116.
85. Malekian, Mohammad, Simon S. Park, and Martin BG Jun. "Modeling of dynamic micro-milling cutting forces." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 49.7-8 (2009): 586-598.
86. Afazov, S. M., S. M. Ratchev, and J. Segal. "Modelling and simulation of micro-milling cutting forces." *Journal of Materials Processing Technology* 210.15 (2010): 2154-2162.
87. Axinte, D., et al. "On the influence of single grit micro-geometry on grinding behavior of ductile and brittle materials." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 74 (2013): 12-18.
88. Fang, F. Z., and Y. C. Liu. "On minimum exit-burr in micro cutting." *Journal of Micromechanics and Microengineering* 14.7 (2004): 984.
89. Zhang, Tao, Zhanqiang Liu, and Chonghai Xu. "Influence of size effect on burr formation in micro cutting." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68.9 (2013): 1911-1917.
90. Huang, H., et al. "Micro-structure detection of a glossy granite surface machined by the grinding process." *Journal of materials processing technology* 129.1-3 (2002): 403-407.
91. Tanovic, Lj, et al. "Experimental investigation of microcutting mechanisms in granite grinding." *Journal of manufacturing science and engineering* 133.2 (2011).
92. Kim, Chang-Ju, J. Rhett Mayor, and Jun Ni. "A static model of chip formation in microscale milling." *J. Manuf. Sci. Eng.* 126.4 (2004): 710-718.
93. Weule, H., V. Hüntrup, and H. Tritschler. "Micro-cutting of steel to meet new requirements in miniaturization." *CIRP Annals* 50.1 (2001): 61-64.
94. Vogler, Michael P., Richard E. DeVor, and Shiv G. Kapoor. "On the modeling and analysis of machining performance in micro-endmilling, part I: surface generation." *J. Manuf. Sci. Eng.* 126.4 (2004): 685-694.
95. Xie, J., and J. Tamaki. "Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance." *Journal of Materials Processing Technology* 186.1-3 (2007): 253-258.
96. Li, Yuan, et al. "Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions." *Journal of materials processing technology* 129.1-3 (2002): 389-394.
97. Tanovic, L. J., et al. "Experimental investigation of microcutting mechanisms in marble grinding." *Journal of manufacturing science and engineering* 131.6 (2009).

УДК 621.923

С.В. Рябченко, к.т.н., с.н.с.,
Я.Л. Сільченко, провідний інж.,
В.Т. Федоренко, провідний інж.,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

РОЗРОБКА ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ З КОМПОЗИЦІЙНИМИ КОРПУСАМИ

Розглянуті можливості використання різноманітних матеріалів для виготовлення корпусів шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів. На прикладі кругів форми 11V9 доведено що використання корпусів кругів з композитів на основі формальдегідних смол і порошків алюмінію має хороші перспективи.

Нами була розроблена композиція на основі формальдегідної смоли та алюмінієвого порошку, в склад якої були введені компоненти, які дозволяють отримати оригінальні фрикційні властивості композиту. Це дало змогу розробити конструкцію круга форми 11V9 діаметром 100 мм, який нема необхідності знімати в процесі роботи з шліфувального верстата, щоб періодично виконувати токарну операцію піднутрення корпусу по мірі зносу робочого шару, як це доводиться робити з кругами, які мають алюмінієвий корпус. Корпуси розроблених нами кругів, в зоні прилеглий до робочого шару, зношуються разом з робочим шаром.

Що стосується кругів з композитних матеріалів на основі органічних смол, то у вітчизняній промисловості вони використовуються вкрай обмежено.

З одного боку причиною цього були не зовсім вдалі спроби використовувати такі корпуси в попередньому десятилітті через незадовільну якість композицій. Розробці більш досконалих композицій не сприяла відносна дешевизна металу.

З іншого боку, на наш погляд, ще однією причиною малого поширення у нас корпусів з композитів є кілька упереджених думок деяких фахівців, які вважають що вирішальним фактором при виборі того чи іншого матеріалу для корпусу круга з надтвердих матеріалів є осьова жорсткість, і ідеальними матеріалами є алюміній та сталь.

А між тим композиційні матеріали в даному випадку містять в собі великі можливості завдяки тому, що варіюючи компоненти і умови отримання композиту можна досягати необхідних властивостей матеріалу.

Так наприклад, як у випадку з корпусом круга 11V9. Даний тип виробу є різновидом чашкового круга. Справа в тому, що даний круг необхідно періодично піддавати токарній обробці, піднутрюючи корпус з внутрішньої сторони алмазоносного шару. Для цього круг повинен бути знятий з шліфувального верстата з подальшою токарною операцією.

Остання обставина призводить до незручностей, які роблять круги форми 11V9 вітчизняного виробництва неконкурентоспроможними в порівнянні з європейськими.

Нами були розроблені круги форми 11V9 діаметром 100 мм, позбавлені цього недоліку (рис.1).



Рис. 1. Шліфувальні круги форми 11V9 з композиційним корпусом

Корпус круга зношується разом з робочим шаром і одночасно забезпечує надійне утримання робочого шару, роблячи неможливим його відрив або сколювання. При цьому композит забезпечує достатню осьову жорсткості корпусу. Круги успішно впроваджені на одному з підприємств України на заміну кругів німецької фірми «Вінтер».

УДК 621.9.06

Ю.І. Бойко, к.т.н., доц.¹,

Д.Ю. Слабій, маг.¹,

В.А. Яновський, доц.²,

Ю.О. Коваль, маг.²,

Національний університет харчових технологій (НУХТ)¹

Державний університет «Житомирська політехніка»²

ВИКОРИСТАННЯ САПР FUSION 360 ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ШВИДКОЗНОШУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Впровадження CAD/CAM технологій та сучасних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у виробництво дозволяє реалізувати швидку заміну зношених деталей для різних машин та механізмів які в промисловості серійно вже не виготовляються, а замовлення, доставка і заміна таких деталей

вимагає значного часу та затримує виконання різних робіт внаслідок простою техніки.

Особливо це стосується деталей сільськогосподарського обладнання, від яких вимагаються висока надійність та довговічність в процесі експлуатації, а при їх зношуванні або раптовій поломці немає можливості швидко їх замінити на серійно виготовлені запчастини.

Для даної техніки, що працює в несприятливих умовах, питання вчасного її ремонту та відновлення має особливу актуальність.

Як показує візуальний та макроскопічний аналіз, більшість деталей зношується внаслідок попадання у вузли тертя піску, дрібних камінців та інших подібних включень, тобто піддається гідроабразивному зношуванню, що приводить до втрати їх довговічності та надійності.

Водночас при діючих економічних відносинах, коли на підприємствах зруйнована система планового технічного обслуговування та ремонту, та відсутні серійно виготовлені запчастини, виникає гостра потреба у оперативному виготовленні та заміні невеликої кількості деталей замість зношених.

За таких умов найбільш раціональним та ефективним шляхом виготовлення нових конструкцій зношених деталей є їх виробництво на замовлення з використанням CAD / CAM технологій на сучасних багатоопераційних верстатах з ЧПК.

Для прикладу передпосівний агрегат АП-6, що широко використовується у фермерських господарствах, призначений для ранньовесняного закриття вологі і культивації ґрунту з рівним та похилим рельєфом, підготовки ґрунту під посів цукрового буряка, зернобобових та овочевих культур. Однією з деталей, що часто зношується у цьому агрегаті є корпус підшипника АП-6.03.501. Матеріал деталі – сірий чавун марки СЧ-20, вага – 1,9 кг.

Слід відмітити, що при серійному виробництві запасних частин заготовки для деталей такого типу виготовляються методом лиття в піщано-глиняні форми або за витоплюваними моделями та потребують складного модельного комплексу, та декількох універсальних верстатів для механічної обробки. Відповідно, що виготовлення таких деталей дль умовах одиничного ремонтного виробництва за даною технологією не є рентабельним.

В даній роботі нами досліджувались особливості автоматизації технологічної підготовки виробництва корпусу підшипника АП-6.03.501 замість зношеного, за допомогою САПР **Fusion 360**, а сама деталь виготовлялась на багатоопераційному верстаті моделі HERMLE C800 V.

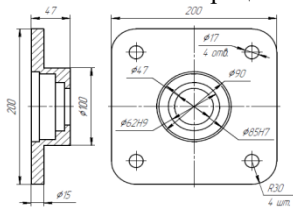


Рис. 1. Корпус підшипника АП-6.03.501

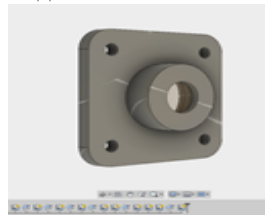


Рис. 2. Твердотільна модель

Fusion 360 це інженерна САПР нового покоління. Вона представляє собою засіб 3-D проектування та розробки конструкції виробів на основі хмарних технологій в якому поєднуються можливості цифрового проектування та механічної обробки в одному пакеті та дає можливість швидко впроваджувати проектні ідеї в стадію виробництва. Вона поєднує в собі найкраще, що можна було взяти від Inventor, Alias, Simulation та інших програмних продуктів Autodesk, для створення унікального середовища, у якому можна виконувати проектування та розробляти керуючі програми для виготовлення деталей різноманітної конфігурації.

Розглянемо основні етапи використання САПР **Fusion 360** в технологічній підготовці виготовлення корпусу підшипника АП-6.03.501.

На першому етапі в середовищі КОМПАС-3D v17 було створено робоче креслення корпусу підшипника (рис.1) та визначили форму та конструктивні особливості майбутнього виробу використовуючи твердотільне моделювання. (рис.2).

Після того як були задані всі параметри, що необхідні для обробки, програма проводить вибір заготовки та розраховує траєкторії рухів різальних інструментів, що використовуються у процесі виготовлення деталі (рис.3) та необхідні для створення керуючої програми виготовлення корпусу.

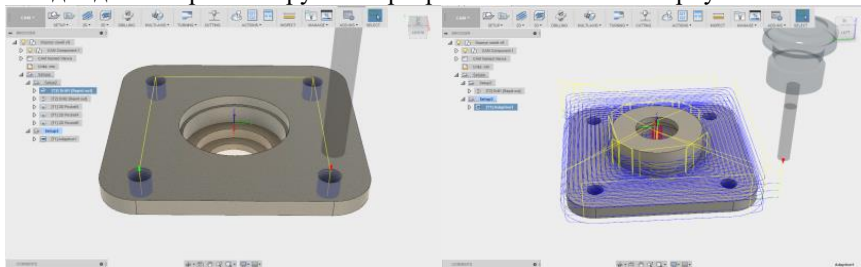


Рис. 3. Траєкторії руху інструментів

В процесі створення траєкторії рухів програма із своєї бази проводить вибір необхідних різальних інструментів (рис.4) та режимів різання.

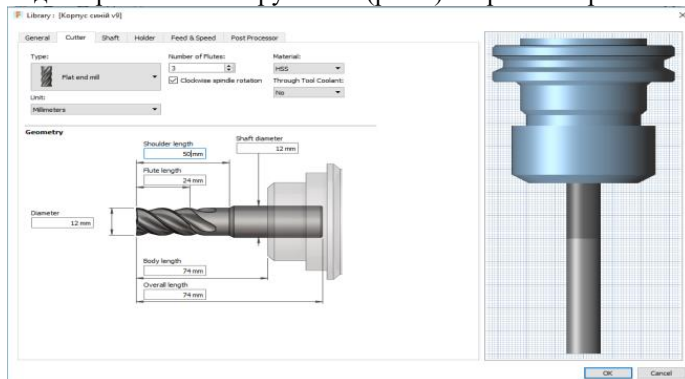


Рис. 4. Вибір інструмента та його параметрів

В подальшому процес обробки деталі на верстаті з ЧПК переглянули в режимі візуалізації, що дало можливість попередньо впевнитись у правильності розрахунків. Для цього у середовище програми завантажили файл параметрів верстата, що містить його 3-D модель, а також відомості про кінематику рухомих частин, кількість рухомих осей та технічні характеристики верстата. Розроблена керуюча програма виготовлення корпусу підшипника, реалізована з використанням сучасного обробного центра з ЧПК моделі HERMLE C800 V.

Висновки:

Використання САПР **Fusion 360** та сучасного металообробного обладнання з ЧПК для проектування та виготовлення зношених деталей складної конфігурації, що на даний час не виготовляються в умовах серійного виробництва, є перспективним напрямком в машинобудівній галузі.

При виготовленні деталей з використанням CAD/CAM технологій на етапі графічного моделювання є можливість модернізувати їх конструкції та забезпечити експлуатаційну надійність, довговічність і ремонтпридатність діючого обладнання, а також максимально використати на підприємстві всі технологічні можливості сучасних верстатів з ЧПК, що закладені виробником

Література:

1. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: Підручник для вищих навчальних закладів / А.І. Грабченко, М.В. Вєрезуб, Ю.М. Внуков, П.П. Мельничук, Г.М. Виговський/ за ред.. А.І. Грабченко. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 507с.
2. О.А. Литвиненко, Ю.І. Бойко, В.А. Яновський CAD/CAM технології проектування та виготовлення деталей на верстах з ЧПК / "Технічна інженерія" №1 (85). – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020, – С. 15– 23.
3. Литвиненко О.А., Бойко Ю.І., Полонський Л.Г., Яновський В.А. Використання комп'ютерних CAD/CAM технологій для проектування та виготовлення зношених деталей технологічного обладнання . Modern questions of production and repair in industry and in transport: Materials of 20 th International Scientific and Technical Seminar (March 23–29, 2020,Tbilisi, Geogia), Kyiv – 2020. Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020г., г. Тбилиси. – Киев: АТМ України, 2020. – С.117–121.
4. Fusion 360 – Режим доступу: <http://autodeskeducation.ru/study/fusion360/>

УДК 004.9

**О.М Зайка, асп.,
В.Д Рудь, д.т.н проф.,**
Луцький національний технологічний університет

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ 3D ДРУКУ В УМОВАХ ДІЮЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

При теперішній дестабілізації економіки кожне підприємство шукає здешевлення технологій для виготовлення кінцевого продукту. Наведемо конкретний приклад використання 3D друку на підприємстві Kromberg&Schubert (м. Луцьк), що спеціалізується на виготовленні автомобільної проводки для великої номенклатури автомобілів. Це потребує застосування різноманітного обладнання для якого часто впроваджуються технічні зміни. Для прикладу на стенді використовується тримач KSAB-48-011-20-b, що утримує штекер при набиванні проводів у готові зв'язки. При завершенні операції укладки дротів штекер повинен легко зніматися із тримача. Виходячи із зазначеним, деякі конструктивні частини тримача виконані рухомими щоб виконувати задані функції У разі втрати тримачем виконувати задані функції дублікат виготовляли із алюмінію або алюмінієвих сплавів Виготовлення тримача із алюмінію, це довготривалий процес – від розробки креслення тримача, замовлення тестового зразка і доставки вже готової необхідної партії проходило декілька тижнів. Тому було прийнято рішення виготовити даний тримач за допомогою 3D друку.

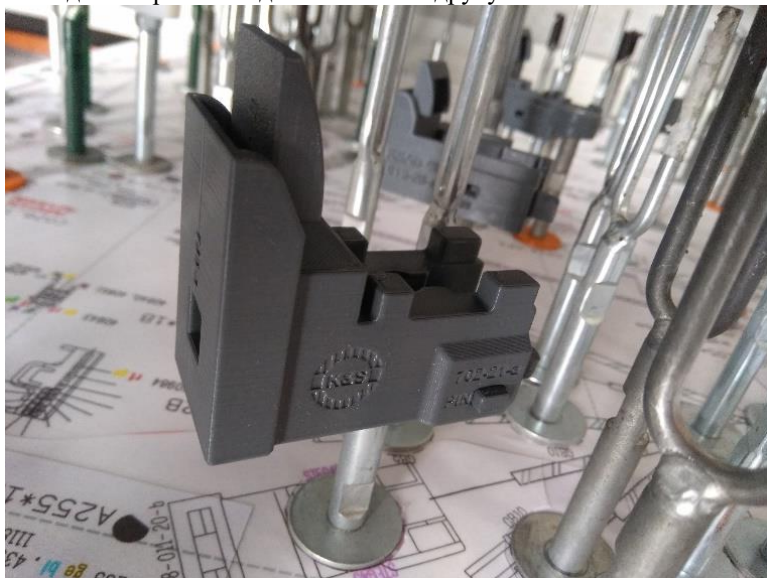


Рис. 1. Деталь із пластика із рухомими елементами.

Виготовлення тримача методом 3D друку здійснювали у декілька етапів: На першому етапі створювали три вимірну модель тримача. При створенні моделей для друку на 3D принтері потрібно враховувати специфіку друку і необхідні якості друківаних деталей. Моделі мають виконувати необхідні експлуатаційні властивості і при цьому мають мати поверхні які буде можливо надрукувати на 3D принтері. Також необхідно враховувати матеріал для друку, поверхню на якій здійснюється друк і тип 3D принтера. Деякі вироби надруковані на 3D принтері можуть відразу монтуватися із складових частин, які мають рухомі елементи. Після друку необхідно зняти шар підтримки і деталь буде готова до використання. При розробці 3D тримачів потрібно враховувати площину деталі яка буде початковою і буде основою для моделі. Також потрібно враховувати нависаючі елементи при друці і постаратись їх мінімізувати або замінити нависаючі елементи на комплектуючі деталі.

Для друку більш функціональних деталей із якісною поверхнею складових частин, необхідно друкувати складові частини роздільно. Після друку скласти виготовлені частини деталі і перевіряти функціональність моделі.

Деталі із пластика часто армують іншими матеріалами. Для цього деталі укріплюють металевими частинами для збільшення жорсткості конструкції і заміна зносостійких частин конструкції. Також можливе застосування еластичних частин надрукованих також на 3d принтері, для збільшення функціональності збірної конструкції і виконання специфічних властивостей. Звісно 3d друк частіше використовується для прототипування, але із розвитком аддитивних технологій збільшується кількість серійних деталей. При виготовленні тримача KSAB-48-011-20-b було застосовано матеріал ХТ (полімер), який має хороші параметри осадження матеріалу, щоб максимально зберегти розмірові параметри під час друку, має невелику пружну деформацію для рухомих частин зборки. Дану конструкцію армувати не потрібно, через те що вона виконує задані функцію із наявного матеріалу.

Замовляючи збірні деталі із металу ціна їх непомірно висока через задіяння багатьох типів обладнання для їх виготовлення. Використовуючи збірні деталі виготовлені безпосередньо на підприємстві за допомогою 3D друку ми вразі економимо час на виготовлення, ціну деталей і транспортні витрати. Мінусом є те що, цілком замінити деталі на пластикові не можна через низькі експлуатаційні властивості окремих елементів, але збільшити частку пластикових тримачів цілком можливо. Під час розробки моделі даного тримача був врахований фактор пошкодження рухомих частин моделі і розроблені спеціальні демонтажні отвори для заміни пошкоджених на нові.

Після виготовлення деталей їх потрібно маркувати. Для металевих деталей використовують маркування, фарбою або гравіюванням. Дане маркування є дорогим вартісним і має велику затрату часу, що в свою чергу збільшує вартість деталі. При виготовленні пластикових деталей ми визначили площину для маркування і вказали параметри маркування в 3D моделі деталі. При друці дане гравіювання збільшує час друку на декілька хвилин.

Розробка даного тримача із використанням принтера для 3D друку дозволила вчасно впровадити заміну ушкоджених деталей на виробництві.

Вартість тримачів KSAB-48-011-20-b в 6 разів дешевша за металеві аналоги. Додатковим аргументом для впровадження технології 3D друку стало те, що при традиційній заміні ушкоджених деталей ми розробляли металевий тримач. Він виготовлявся для нашого підприємства по замовленню. Вчасно впровадити його на виробництві було складно через браковані запчастини від постачальника і, як наслідок, отримали прострочення термінів відправки продукції до клієнта. Було вирішено застосовувати дану технологію 3D друку для подальшого впровадження технічних змін на підприємстві. Перевагою є низька вартість деталей, швидке виготовлення деталей, швидка розробка тестових зразків.

Література:

1. Prince, S.P., Ryan, R.G., Mincer, T.: Common API: using visual basic to communicate between engineering design and analytical software tools. In: ASEE Annual Conference (2005)
2. Farhan, U.H., Tolouei-Rad, M., O'Brien, S.: An Automated Approach for Assembling Modular Fixtures Using SolidWorks. International Scholarly and Scientific Research & Innovation **6**(12), 365–368 (2012)
3. Lad, A.C., Rao, A.S.: Design and Drawing Automation Using Solid Works Application Programming Interface **2**(7), 157–167 (2014)
4. Jian-li, T., Shen-xiao, L., Hui, F.: CAD system design on standard part based on software reuse. In: Fourth International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling (KAM), pp. 229–232 (2011)
5. Farhan, U., O'Brien, S., Tolouei Rad, M.: SolidWorks Secondary Development with Visual Basic 6 for an Automated Modular Fixture Assembly Approach. International Journal of Engineering **6**(6), 290–304 (2012)
6. Liu, W., Zhou, X., Niu, Q., Ni, Y.: A Convenient Part Library Based On SolidWorks Platform. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering **8**(12), 1851–1854 (2014)
7. Sun, B., Qin, G., Fang, Y.: Research of standard parts library construction for solidworks by visual basic. In: International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, pp. 2651–2654 (2011)
8. Wang, S.-H., Melendez, S., Tsai, C.-S.: Application of parametric sketching and associability in 3D CAD. Computer-Aided Design and Applications **5**(6), 822–830 (2008)

УДК 621.9.08

В.Ф. Молчанов, к.т.н, доц.,
Дніпровський державний технічний університет

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Введення. Сучасне машинобудівне виробництво передбачає підвищення точності, надійності і довговічності при випуску машинобудівної продукції для народного господарства. У зв'язку з цим, необхідно істотно підвищувати точність і надійність металорізального обладнання та устаткування.

Питання підвищення точності і надійності металорізального обладнання та устаткування можна вирішувати автоматизацією виробничих процесів. Для цього широко впроваджуються програмно-керовані верстати, гнучкі виробничі системи, роторні лінії, автоматичні дільниці і заводи. В умовах автоматизованого виробництва задана точність має бути забезпечена самою технологічною системою. Проблема забезпечення точності - одна з найбільш складних. Для її вирішення необхідна розробка спеціальних апаратурних засобів і систем управління технологічними операціями, створення нових підходів до аналізу процесів формоутворення поверхонь.

Теоретичні дослідження по вивченню впливу окремих вхідних змінних і параметрів технологічної системи на процеси, що протікають при механічній обробці, дозволяють на стадії проектування операцій заздалегідь розрахувати очікувану точність і визначити методи її забезпечення [1, 2].

Постановка задачі. Для умов автоматизованого виробництва виникає два основних завдання:

- а – настроювання технологічної системи на забезпечення заданих розмірів;
 - б – підстроювання системи з метою отримання заданих параметрів точності
- впродовж досить тривалого проміжку часу.

При рішенні першої задачі забезпечують точність взаємного розташування виконавчих механізмів верстата, заготовки, інструменту і пристосувань. На даний час застосовуються наступні методи настроювання верстатів: статичне настроювання, настроювання по пробних заготовках за допомогою робочого калібру і настроювання за допомогою універсального мірного інструменту по пробних заготовках [3].

Результати роботи. Статичні настроювання виконуються на нерухомому верстаті. Положення різальних інструментів відносно верстата вивіряють за допомогою калібрів, які розташовують на місці оброблюваної деталі. Для компенсації динамічних похибок настановні калібри виготовляють з поправкою. Розрахунковий розмір обчислюють по залежності:

$$L_{роз} = L_{дет} + \Delta_{поп}, \quad (1)$$

де $L_{дет}$ – розмір деталі, який має бути отриманий після обробки;

$\Delta_{\text{попр}}$ – поправка, що враховує динамічні похибки, які виникають в процесі обробки.

При настроюванні технологічної системи за допомогою робочого калібру, робиться регулювання взаємного розташування виконавчих механізмів верстата і інструменту, обробка пробної деталі, перевірка точності за допомогою калібру, яким користуються надалі при обробці виробу. Розглянутий метод настроювання не можна вважати оптимальним, оскільки він не забезпечує необхідне розташування первинного настроєного розміру по відношенню до поля допуску обробленої поверхні. При настроюванні системи за допомогою універсальних мірних інструментів спочатку виконується статичне настроювання верстата, потім проводиться пробна обробка однієї або декількох заготовок, вимірюється розмір обробленої поверхні, вводиться корекція у взаємне положення заготовки і інструменту. Настроювання системи за допомогою універсальних мірних інструментів забезпечує оптимальне розташування настроєного розміру відносно поля допуску на оброблену поверхню.

Під впливом різних процесів, що відбуваються в самій технологічній системі, таких як спрацювання інструменту, нагрів елементів верстата, зміна сил різання, відбувається зміна розмірів оброблених поверхонь партії деталей. Поле розсіювання розмірів зміщується в поле допуску, одночасно може змінюватися і середньоквадратичне відхилення розмірів.

Для забезпечення заданої точності в технологічній системі необхідне підстроювання, яке може здійснюватися після обробки партії заготовок, або після обробки кожної заготовки.

При другому методі забезпечується стабілізація розмірів виробів. Для його здійснення необхідна відповідна система числового програмного керування. При періодичному підстроюванні час між підстроюваннями $t_{\text{нід}}$ може бути визначено залежністю:

$$t = \frac{(T - 3\sigma_0 - \delta - 3\sigma_t - 2\delta_u - \delta'')t_0}{\Delta L}, \quad (2)$$

де $T_{\text{дем}}$ – допуск на розмір деталі;

σ_0 – середньоквадратичне відхилення розміру деталі після настроювання системи;

σ_t – середньоквадратичне відхилення розміру у момент підстроювання системи;

δ_u – похибка настроювання системи;

δ'' – похибка вимірів розміру;

t_0 – основний час обробки поверхні;

$\Delta L_{\text{дем}}$ – середньостатистична зміна розміру при обробці однієї деталі.

При підстроюванні системи після обробки кожної заготовки величина підстроювального імпульсу X_n обчислюється за формулою:

$$X_{n_i} = X_{роз_i} + \Delta I_{\phi_{i-1}}, \quad (3)$$

де $X_{роз_i}$ – розрахунковий підстроювальний імпульс, який визначається за прогнозом зміни розміру при обробці заготовки;

$\Delta I_{\phi_{i-1}}$ – поправка знаходиться по фактичному відхиленню розміру обробленої поверхні ($i-1$)-ої деталі.

Другий метод підстроювання може бути здійснений при обробці деталей на верстатах з ЧПК з системами управління, оснащених датчиками контролю розміру. При обробці на верстатах-автоматах, для реалізації методу окрім датчика контролю розміру в системі управління необхідно мати арифметико-логічне пристосування.

При обробці заготовок на верстатах з ЧПК вихідні параметри точності $Y(t)$ визначаються усією передісторією зміни дій $X(\tau)$, фізико-механічних властивостей заготовки $S(\tau)$, параметрів геометричної форми, розташування поверхонь і розмірів заготовки $G(\tau)$, а також режимів обробки $R(\tau)$, параметрів технологічної системи $Q(\tau)$ і інших неврахованих факторів $N(\tau)$ [4]:

$$Y(t) = F_0[X(\tau); S(\tau); G(\tau); R(\tau); Q(\tau); N(\tau)]. \quad (4)$$

Завдання забезпечення точності обробки в цьому випадку вирішується як відомими методами так і за допомогою спеціальних контрольних і діагностичних систем. Здійснюють контроль параметрів заготовки, що поступає на обробку, параметрів технологічного процесу, стану різального інструменту, технічного стану вузлів верстата, виконання управляючої програми, стану завантажувальних пристроїв, положення різальних кромek в системі координат верстата, фактичного розміру обробленої поверхні [5].

З метою прискорення процесу настроювання технологічної системи широко застосовують настроювання інструментів і інструментальних блоків поза верстатом з наступним внесенням корекцій положення інструменту з урахуванням динамічних похибок, що виникають при обробці.

Для підвищення точності обробки на чистових і обробних операціях розроблені системи автоматичного керування точністю і системи активного контролю, а саме: стабілізації швидкості різання при торцевій обробці; стабілізації потужності різання; стабілізації температури різання; управління пружними деформаціями при різанні; оптимізації управління токарної, фрезерної, шліфувальної обробки [6].

При створенні таких систем виконується ідентифікація технологічних операцій, формуються умови оптимального керування, розробляється апаратне оформлення системи.

Висновки. Застосування систем автоматичного управління дозволяє підвищити точність отримання розмірів в 1,3-1,6 рази, форми поверхонь в 1,5 - 2 рази; взаємного розташування поверхонь в 1,4-1,8 рази.

Література:

1. Молчанов В.Ф. Методи підвищення точності при механічній обробці / В.Ф. Молчанов // «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» XI Міжнародна науково-практична конференція (матеріали конференції) –Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т. 1. – С. 112.
2. Молчанов В.Ф. Методи забезпечення точності для умов автоматизованого виробництва / В.Ф. Молчанов // «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції 01 - 04 червня 2021 року: – Краматорськ: ДДМА, 2021. – С.103-104.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов / А.А. Маталин. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 512 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. Т. 1. – М.: Машиностроение. 1986. – 656 с.
5. Валькова В.М. Контроль в ГАП / В.М. Валькова. – Л.: Машиностроение. 1986. – 232 с.
6. Папарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процесов металлообработки / Н.К. Папарев. – Киев; Одесса: Вища школа, 1984. – 312 с.

УДК 621.9.01:004.358

Н.О. Балицька, к.т.н., доц.,

Т.С. Юрчук, маг.,

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Для дослідження процесів різання матеріалів все більше застосування знаходять системи скінчено-елементного аналізу такі як DEFORM, ABAQUS, LS-DYNA, ADVANT EDGE, ANSYS EXPLICIT DYNAMICS тощо.

Будь-яка скінчено-елементна модель розробляється для умов, що визначають процес різання, однак, містить цілий ряд спрощень. Тому призначені розробником умови повною мірою не відображають реальний процес обробки.

Симуляція процесу різання забезпечується комп'ютерними обчисленнями з використанням рівнянь, що характеризують пластичне течіння матеріалу і його руйнування. Подібні рівняння називаються феноменологічними рівняннями або науковими моделями. Кожна з цих моделей описує емпіричний взаємозв'язок явищ таким чином, що вона узгоджується з фундаментальною теорією, але не безпосередньо впливає з теорії. Такими моделями є моделі

Джонсона-Кука, Купера-Саймондса, Зерілли-Армстронга, Літонскі-Батра, Боднер-Партома, «Силової залежності» [1, 2].

В більшості випадків при численному моделюванні процесів механічної обробки матеріалів використовується модель Джонсона-Кука – емпіричне рівняння для металів під дією великих деформацій, високих швидкостей деформації і високих температур, згідно з яким, динамічна межа текучості, σ , записується таким чином:

$$\sigma = (A + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \dot{\epsilon}^*\right) (1 - T^{*m}) \quad (1)$$

де ϵ – інтенсивність пластичної деформації;

$\dot{\epsilon}^* = \dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_0$ – безрозмірна швидкість пластичної деформації, що визначається як відношення миттєвої швидкості пластичної деформації $\dot{\epsilon}$ до її граничного значення $\dot{\epsilon}_0 = 1 \text{ c}^{-1}$;

T^* – гомологічна температура;

A – статична межа текучості, B – модуль деформаційного зміцнення, n – показник ступеня в законі деформаційного зміцнення, C – коефіцієнт швидкості деформації, m – показник ступеня в законі температурного зміцнення (константи, які визначаються емпіричним шляхом).

Дослідники з метою визначення параметрів, що входять в дані феноменологічні рівняння, досить часто вдаються до методики, що має назву «Split-Hopkinson pressure bar» або аналогічних їй. Ці методики хороші тим, що дозволяють отримати криві текучості при різних температурах зразків і швидкостях деформації. Разом з тим слід зазначити, що дані криві при застосуванні до процесу різання дають значну похибку тому, що зразки піддаються тільки розтягуванню, а при різанні, як відомо, має місце зсув. Крім того, неточності у визначенні параметрів, що входять в феноменологічні рівняння, можуть привести або до неможливості вирішення поставленого завдання, або до суттєвих помилок у визначенні функціональних параметрів обробки (сил, температур різання тощо) та параметрів якості поверхневого шару.

До основних недоліків моделі Джонсона-Кука можна віднести її емпіричну основу і відсутність зв'язку між швидкістю деформації і температурою в процесі пластичної деформації. Також модель має недоліки у представленні характеристик зміцнення всіх видів матеріалів. Швидкісне зміцнення (в других дужках рівняння (1)) виражене як лінійна функція від логарифма швидкості деформації. В результаті опису швидкісного зміцнення лінійною функцією, межа текучості матеріалу також лінійно залежить від логарифма швидкості деформації, що не є справедливим для всіх поширених металевих матеріалів.

В роботі [3] зазначено, що не існує жодної моделі, в якій одночасно похибки прогнозування всіх складових сили різання, температури різання, форми стружки та її усадки були б менше 5%. Часто це пояснюється неточністю

моделі тертя на передній поверхні, оскільки саме тертя на передній поверхні багато в чому визначає ці показники.

За даними [3] на похибку прогнозування сили і температури різання найбільше впливає похибка показників тертя і радіусу округлення різальної кромки. Іншими важливими факторами впливу є: передній кут інструмента; теплоємність оброблюваного матеріалу; параметр A , що визначає рівняння оброблюваного матеріалу і максимальна величина накопичених пластичних деформацій до руйнування.

Таким чином, якісна розробка скінчено-елементної моделі процесу механічної обробки матеріалу вимагає ретельного врахування великої кількості параметрів, які характеризують різноманітні явища, якими супроводжується процес різання. Комплекс таких параметрів (фізичних, геометричних, кінематичних, технічних тощо) визначає достовірність скінчено-елементної моделі.

Література:

1. Евдокимов Д.В. Разработка комплексной методики для определения рациональных условий концевой фрезерования лопаток ГТД и прогнозирования качества обработки: дис. ... кандидата техн. наук : 05.07.05 / Евдокимов Дмитрий Викторович. – Самара, 2021. – 223 с.
2. Ходько А.А. Особенности выбора модели пластичности металла деформируемой заготовки при численном исследовании процесса гидродинамической штамповки / А.А. Ходько // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 5 (112). – С. 11–24.
3. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залогова. – Сумы: Университетская книга, 2012 – 496 с.

УДК 621.822.681.2:369.64

В.І. Марчук, д.т.н., проф.,

І.В. Марчук, к.т.н., доц.,

С.В. Гринюк, к.т.н., асистент,

Ю.А. Лук'яничук, к.т.н., ст. викл.,

Т.Є. Божко, к.т.н., доц.,

Луцький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ В УМОВАХ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

У практиці світового машинобудування відбувається постійне підвищення вимог до якості та конкурентоспроможності виробів і тому одним з основних

завдань технології машинобудування є забезпечення високої якості деталей при певному виробництві з найменшими витратами. Одним з основних показників експлуатаційної надійності продукції машинобудування, що гарантує її конкурентоспроможність на світових ринках є її якість – здатність виробу задовольняти потреби споживачів на всіх етапах його життєвого циклу, аж до утилізації. [1].

При аналізі виробничих дефектів на шліфувальних операціях підшипникового виробництва визначено, що до 30% всіх дефектів кілець після шліфування відносяться до температурних. Тому, встановлення раціональних температурних параметрів і їх взаємозв'язків з показниками процесу шліфування заготовок кілець в умовах переналагоджувального виробництва є актуальною науково-технічною проблемою, що вимагає ретельного аналізу причин походження температурних дефектів, пошуку методів і засобів їх усунення [1].

Температурні дефекти, що виникають на шліфувальних операціях оброблення поверхонь обертання зовнішніх кілець роликопідшипників не тільки негативно впливають на експлуатаційні властивості підшипника. Можна виділити чинники, які безпосередньо впливають на температуру в зоні різання (рис. 1.) [2].

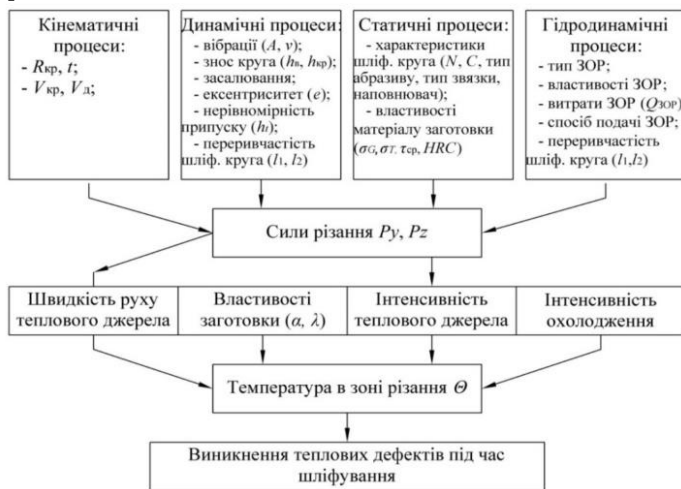


Рис. 1. Класифікація процесів, що впливають на виникнення теплових дефектів

В теорії шліфування прийнято вважати, що продуктивність оброблення безпосередньо впливає на температуру під час шліфування. В дійсності вплив продуктивності оброблення на температуру під час шліфування θ відбувається не безпосередньо, а через зміну кількості тепла, яке йде в утворену стружку і заготовку. Теоретичне дослідження температур для різних схем шліфування дозволяє зробити висновок, що граничний стан температурного поля (теплового насичення) настає не відразу після початку процесу шліфування. Від початку процесу до встановлення граничного стану існує малий, але

фізично відчутний проміжок часу, протягом якого шліфування протікає в нестационарному режимі. Нестационарний режим роботи в процесі шліфування відкриває принципову можливість зниження контактних температур за рахунок переривчастого шліфування [3].

На рис. 2 наведена структурна схема умов зменшення температури під час переривчастого шліфування зовнішнього кільця підшипника.

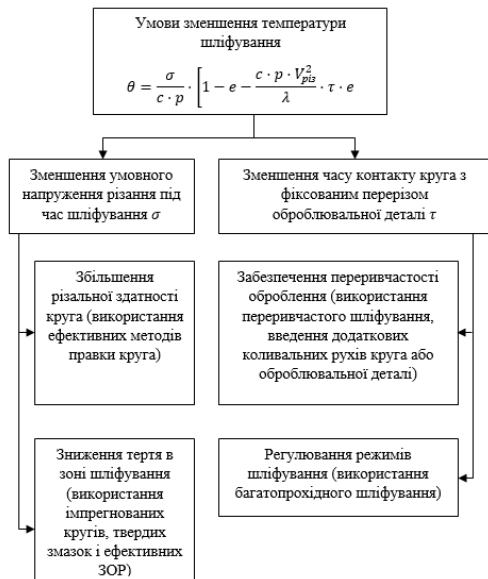


Рис. 2. Умови зменшення температури під час переривчастого шліфування

Для зменшення температури в зоні шліфування було розроблено систему адаптивного керування режимами шліфування, в яку покладена кореляційна залежність між тангенціальною складовою сили різання P_z та температурою шліфування θ для заданих значень технологічних параметрів і режимів різання (рис. 3).

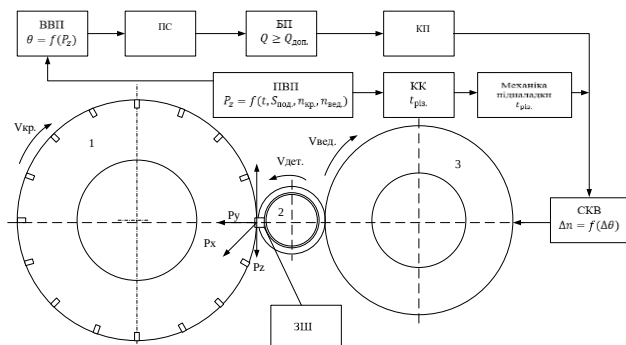


Рис. 3. Система адаптивного бездефектного шліфування на базі безцентрово-шліфувального верстату SASL5AD

Висновки. В роботі на підставі отриманих науково обґрунтованих результатів розв’язана важлива науково-практична задача створення ефективної технології бездефектного фінішного механічного оброблення поверхонь обертання кілець роликотідишипників в умовах серійного переналагоджувального виробництва за рахунок використання високоефективного переривчастого абразивного інструмента, вдосконалення переналагоджувальних операцій та використання методики прогнозування технологічних показників на стадії проектування технології.

Література:

1. Marchuk V., Hrynjuk S., Hrysjuk I. An analysis of intercommunications of technological factors is with indexes of quality of polishing operations // Technological Complexes. - Lutsk, 2017 – №1(14) – Р. 36–43.
2. Марчук В.І, Сачковська Л.О., Гринюк С.В. Про вплив температури шліфування на показники якості поверхонь кілець роликотідишипників // Збірник наукових праць ІХ-тої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» 3–7 лютого, 2020, Львів-Плай. 120–121 с.
3. Hryniuk S. Investigation of the influence of cutting modes and intermittent grinding wheel parameters on the grinding temperature of the roller bearings // «Modern engineering and innovative technologies» – Karlsruhe, Germany, March 2020. Issue №11 Part1. – С. 17–21.

УДК 621.01:621.893:620.178.16:678.664

В.М. Анісімов, д.т.н., проф.,

В.В. Анісімов, к.т.н., доц.,

Український державний хіміко-технологічний університет

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ВИРОБІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗНОСОСТІЙКІСТЮ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Більшість машин та агрегатів (85–90 %) виходять із ладу з причин зношування деталей. Витрати на ремонт досягають астрономічних цифр, які щорічно стрімко збільшуються [1]. Конструкційні сталі, кольорові метали, великотонажні полімери та традиційні методи їх переробки не вирішують означену проблему. Все більше розповсюдження у якості матеріалів з підвищеною зносостійкістю знаходять полімерні композити із заданим комплексом властивостей, а серед технологій їх переробки – сучасні адитивні технології [2,3]. Тому створення сучасного технологічного комплексу

швидкого прототипування виробів з підвищеною зносостійкістю для машинобудування є актуальною науково-технічною проблемою і має велике практичне значення для використання в промисловості.

Для виготовлення широкої номенклатури виробів з підвищеною зносостійкістю було спроектовано та виготовлено технологічний комплекс швидкого прототипування. Для цього спеціально розроблено екструдерне обладнання, обрано відповідний 3D-принтер та застосовано багатоосьовий верстат фрезерної групи для доводки виробів.

Екструдер спроектовано із врахуванням особливостей переробки полімерних композиційних матеріалів високої в'язкості, наявності антифрикційних наповнювачів (тонкодисперсний графіт і кокс, дисульфід молібдену, смоли та ін.). Діаметр шнеку дорівнює 20 мм, що дозволяє отримувати філаментні стренги діаметром 1,75 та 3 мм при продуктивності 10 – 30 кг за годину. У якості полімерної матриці обрано лінійні блок-кополіуретани різної хімічної будови. Актуальність обраних матеріалів перш за все визначається екологічними чинниками – поліуретани блокової будови забезпечують унікальний комплекс властивостей і, одночасно, вони при цьому придатні до рециклінгу, перероблюються за безвідходною технологією на високошвидкісному автоматизованому обладнанні.

Встановлено, що для умов одиничного виробництва найбільш ефективним є застосування 3D-принтерів за технологією пошарового наплавлення (FDM). Придбаний FDM-принтер моделі C-K2 має робочу зону 200x200x200 мм, нагрівальний стіл з температурою до 120 °С та ін. Проаналізувавши дві найвідоміші системи подачі філаменту: Bowden і Direct Drive, прийшли до висновку, що їх конфігурації не забезпечують високу якість отриманих виробів із композиційних матеріалів. Перенесення маси двигуна на раму, як у конфігурації Bowden, і розташування при цьому подаючої шестерні максимально близько до сопла, як у конфігурації Direct, дозволило суттєво покращити якість поверхні надрукованої деталі, підвищити швидкість друку і відповідно продуктивність прототипування.

З метою видалення тимчасових підтримок для деталей із складною конфігурацією, усунення основи, на якій друкувалась деталь, підчистки поверхонь деталей, обробки каналів та ін. був використаний чотириохосьовий фрезерний верстат моделі LZ3020Z-VFD1,5KW USB 4 axis.

За допомогою розробленого технологічного комплексу швидкого прототипування були виготовлені із композиційних матеріалів з підвищеною зносостійкістю підшипники ковзання, манжети, ущільнення, шестерні для потреб машинобудівного комплексу, які показали свою ефективність.

Література:

1. Anisimov, V.N. About wear resistance of linear block-polyurethanes [Text] / V.M. Anisimov, A. Panda, V.V. Anisimov, K. Dyadyra, I. Pandova // MM Science Journal. – 2020. – 2020 (November). – P.P.4068 – 4073. DOI:10.17973/MMSI.2020_11_2020024.
2. Anisimov, V.N. Linear Block-Polyurethanes with Optimal Molecular Topology for Tribotechnology [Text] / V.N. Anisimov, V.V. Anisimov // Voprosy

khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2020. № 3, – PP.20 – 25. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-130-3-20-25.

3. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. – 220 с.

УДК 621.937

С.В. Майданюк, асистент,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРИ ВІДРІЗАННІ АЛЮМІНІЄВИХ ПРОФІЛІВ

Алюмінієвий профіль широко використовують в різних галузях при проектуванні та виготовленні різних конструкцій. Особливістю таких профілів є їх висока міцність та жорсткість, які не поступаються сталевим профілям, але вони набагато легші. Окрім того, алюмінієвий профіль додатково покривають різного роду покриттями, від захисних та декоративних до зносостійких, що значно розширює їх область використання. Асортимент профілів дозволяє втілювати різні ідеї конструктора та дизайнера.

При виготовленні конструкцій з алюмінієвих профілів однією з основних та відповідальних операцій є їх відрізання на окремі деталі. До операцій відрізання постійно висувають вимоги підвищення продуктивності оброблення, досягти якого можливо за рахунок використання більш точних та продуктивних верстатів, що дозволяють працювати зі збільшеними режимами різання, але, поряд з цим, постає задача використання інструментів, які дозволяють працювати з підвищеними режимами різання без зниження якості оброблення.

Відрізання алюмінієвих профілів виконується на відрізних верстатах відрізними фрезами, тому від вибору верстата, інструменту та режимів оброблення залежить якість оброблених поверхонь та якість складання окремих деталей в готову конструкцію.

Оскільки, при подальшому складанні отриманих деталей в конструкцію, необхідно забезпечити правильне взаємне розташування деталей та щільне їх прилягання, відповідно до точності та якості оброблених торцевих поверхонь висуваються високі вимоги, оскільки від точності та якості торцевих поверхонь залежить точність складання конструкції.

Підвищення продуктивності оброблення можна досягти за рахунок підвищення режимів оброблення, але такий підхід призводить, як правило, до зниження точності та якості оброблення. Тому, підвищення продуктивності

невідривно пов'язане з розробленням та удосконаленням конструкції інструмента.

При відрізанні алюмінієвих профілів використовуються відрізни фрези у яких головна різальна кромка та передня поверхня розташовуються паралельно осі фрези. Процес різання таким інструментом відповідає прямокутному різанню, в процесі якого спостерігаються удари кожного зубця при врізанні в заготовку, що негативно впливає на силові та динамічні характеристики процесу відрізання, стійкість інструмента та якість оброблення.

Одним з варіантів підвищення продуктивності та якості процесу відрізання є перехід від прямокутного різання до косокутного, яке характеризується плавним входженням зубців в заготовку, що покращує динамічні, силові та температурні характеристики процесу різання, покращує умови стружкоутворення та стружковідведення, що знижує силове навантаження на кожний окремий зубець інструмента та покращує якість оброблених поверхонь. Таким чином, використання відрізних фрез з різнонаправленими зубцями, у яких різальна кромка розташовується не паралельно осі фрези за рахунок того, що передня та задня поверхні не паралельні осі фрези, а зубці розташовуються в шаховому порядку з різним за знаком кутом нахилу є перспективним. Окрім того, за рахунок шахового розташування зубців крок між суміжними зубцями вздовж різальної кромки не буде постійним, що покращує динамічні характеристики процесу відрізання.

Дослідження завантаження різальних зубців відрізної фрези з різнонаправленими зубцями, в порівнянні зі стандартними фрезами, показали зменшення товщини зрізуваного шару, за рахунок утворення на зубцях кута в плані, та зменшення ширини зрізуваного шару, за рахунок різнонаправленого розташування зубців.

Дослідження силових характеристик відрізних фрез з різнонаправленими зубцями, в порівнянні зі стандартними фрезами, при відрізанні профілів з екструдованого алюмінієвого сплаву АД31Т показали зменшення сил різання при відрізанні в 2–3 рази, за рахунок розташування різальної кромки під кутом в плані та кутом нахилу кромки.

Проведені дослідження відрізання профілів з екструдованого алюмінієвого сплаву АД31Т на автоматичному відрізному верстаті відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями в порівнянні з фрезами стандартної конструкції на різних режимах оброблення з використанням та без використання мастильно-охолоджуючої рідини показали, що використання відрізних фрез з різнонаправленими зубцями призводить до підвищення продуктивності оброблення в 1,2–1,4 рази за рахунок підвищення режимів різання, зменшення шорсткості оброблених поверхонь в 1,5–1,8 рази за рахунок використання раціональної геометрії різальної частини, зменшення величини задирок на оброблених поверхнях, а використання мастильно-охолоджуючої рідини дозволяє зменшити шорсткість оброблених поверхонь в 2–2,2 рази.

УДК 621.924.093

**В.В. Бурикін, к.т.н.,
С.А. Клименко, к.т.н.,**

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

ГІДРОАБРАЗИВНЕ ТОЧІННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сфера застосування технології гідроабразивної обробки металевих і неметалевих матеріалів почала швидко розширюватися, починаючи з 1985 року. Процес взаємодії надзвукового струменя води з абразивом і матеріалом вивчений поки ще недостатньо, немає всеосяжної моделі руйнування, та й сама природа руйнування матеріалу досить складна і вимагає додаткових досліджень. Існують припущення і математичні моделі руйнування оброблюваного матеріалу гідроабразивним струменем, але вони не завжди відповідають експериментальним даним. Тому гідроструйна обробка матеріалів є складним маловивченим процесом, які не мають до теперішнього часу стрункої теоретичної основи, тому точність і шорсткість оброблених поверхонь деталей є найчастіше «мистецтвом» оператора, а отримання необхідних результатів різання досягається методом проб і помилок. Розвиток гідроструменевої обробки спрямований не тільки на розширення функціональних можливостей методу, але і на підвищення точності, продуктивності та ефективності процесу в цілому. Існує ряд основних напрямків, в якому ведуться роботи по вдосконаленню процесу гідроабразивної обробки матеріалів [1].

Суть методу полягає в подачі розігнаного до надзвукової швидкості струменя води на опрацьований матеріал, що руйнується внаслідок взаємодії з інструментом, що має високу деструкуючу особливість. Для інтенсифікації процесу в деяких випадках в струмінь додають абразивний матеріал. Як абразивний матеріал можуть виступати корунд, карбід кремнію, синтетичні алмази, мінерал граната та інші абразиви. Слід зазначити, що в даний час велике поширення має мінерал граната (альмандин). Потрапляючи на оброблювану поверхню, він викликає ерозійне руйнування поверхневого шару, а в залежності від технологічних параметрів (швидкості витікання води, подачі гідроабразивної голівки щодо заготовки, кількості абразивних частинок в струмені, відстані від зрізу сопла до матеріалу) процес обробки може відрізнятися: від зняття тонкого шару окалини до наскрізного прорізування матеріалу.

Величезний внесок у дослідження процесу гідроабразивного руйнування матеріалів внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: Р.А. Тихомиров, І.І. Шапіро, Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, В.С. Гуєнко, В.А. Шманьов, А.А. Барзов, С.П. Козирєв, І.В. Петко, Є.Н. Петухов, М. Hashish, I. Finnie, R. Kovacevic, R. Mohan, I. Hideo, N. Bale, A. Popan, M. Ramulu, S.N. Guo, G.L. Chahine, J. Chao, P. Berce, G. Fowler та ін.

Незважаючи на широке застосування гідроабразивного струменя не тільки в сучасному машинобудуванні, а й в медицині, харчовій, текстильній, космічній та авіабудівній промисловостях, цей метод обробки матеріалів впроваджується в усі нові області. Цим інструментом виробляють не тільки фігурний розкрій різного роду матеріалів, гравірування поверхонь, гнуття, покрокове вигинання поверхонь, але і гідроабразивну механообробку. В останнє десятиліття спостерігається науковий і практичний інтерес до використання гідроабразивної механообробки. Існують роботи [2–5], спрямовані на вивчення гідроабразивного точіння (ГАТ) і фрезерування, описані методи планування експериментів при даній обробці, отримані залежності глибини точіння від параметрів обробки. Іранськими вченими М. Zohoor, I. Zohourkari була запропонована модель гідроабразивного точіння [4], яка з достатньою достовірністю описує остаточну геометрію заготовок після обробки і представлений механізм видалення матеріалу при гідроабразивному точінні, причому емпіричними константами уточнена модель ерозії матеріалів М. Hashish, яку він запропонував в своїй роботі [6].

Абразивно-струменева токарна обробка – це нова технологія для обробки циліндричних або вісесиметричних деталей від твердих до конструкційних матеріалів. Одна із проблем гідроабразивної токарної обробки полягає в тому, що реальна глибина різання зазвичай не дорівнює скоригованій радіальній глибині різання. Цей метод заснований на рівності часу впливу струменя на зняття припуску і простому випробуванні на переріз, виконаному абразивно-рідинним струменем. Зусилля різання дуже малі при гідроабразивному різанні, що дає можливість обробляти деталі великої довжини і відносно невеликого діаметру. Цей процес підходить для обробки жорстких і важкооброблюваних матеріалів, таких як скло, кераміка, композити і різні надтверді матеріали або титанові сплави. Як показують дослідження, глибина різання не завжди визначається радіальним зміщенням струменю. Глибина різання визначається ефективністю різання, тобто по глибині пропилю. Ця глибина залежить від часу впливу, тиску і абразивної масової витрати, якщо інші параметри, такі як відстань від сопла і діаметр струменя, вважаються постійними. Якщо ми можемо визначити час дії, то результат простого тесту на пропил може бути використаний для визначення глибини різання при абразивно-струменевої обробці, яка виконується з заданим тиском і масовою витратою абразиву. Після визначення часу впливу, виходячи з випробувань на проріз, можна оцінити ступінь прорізу. З прорізу реальна глибина різання може бути легко розрахована на геометричній основі. За допомогою реальної глибини різання можна визначити діаметр оброблюваної деталі.

Установка ГАТ [7] містить станину з поздовжніми направляючими, на яких з можливістю зворотного-поступального переміщення за допомогою приводу встановлено портал з поперечними направляючими. На поперечних направляючих з можливістю зворотного-поступального переміщення за допомогою приводу змонтована каретка, що несе приводний супорт, призначений для установки інструментальної (струменевої) голівки, оснащеної клапаном подачі технологічної рідини, приводом для регулювання кута її

нахилу, автоматичним дозатором абразиву і змішувальною камерою. На станині є ванна з ґратами у вигляді рами для гасіння кінетичної енергії струменя в технологічній рідині. На протилежних стійках станини, розміщені повідковий патрон з електродвигуном та центри, призначені для кріплення в них, оброблюваної деталі типу тіло обертання і надання їй кругового руху. Центр оснащений затискнуою гайкою від поздовжнього переміщення деталі типу тіло обертання.

Установка ГАТ працює наступним чином. У центри та повідковий патрон, встановлених на протилежних поперечних сторонах станини, кріпиться деталь типу тіло обертання, що обробляється, і затискається гайкою. У ванну з ґратами наливають необхідну кількість технологічної рідини. Включають електрообладнання гідроабразивної установки. Електродвигун створює обертотвий рух деталі типу тіло обертання проти годинникової стрілки. Насос високого тиску, що складається зі сталеві рами з встановленими в ній електродвигуном, гідропанеллю і мультиплікатором високого тиску за допомогою бустера, нагнітає тиск від 300 до 600 МПа. При цьому всі коливання, які створюються насосом, гасяться в акумуляторі тиску великої місткості, що гарантує вільний від пульсації струмінь технологічної рідини. Після цього її для генерації струменя подають по гнучким трубах високого тиску в інструментальну голівку, яка і здійснює ГАТ деталі типу тіло обертання. Одночасно, з системи подачі абразиву, що складається з ємності циліндричної форми з пневмоклапаном для зручного його засипання і подальшої регульованої подачі через дозатор, абразив потрапляє в змішувальну камеру. Технологічна рідина, проходячи через отвір в голівці діаметром чверть міліметра (тиск при цьому ще більше зростає), потрапляє в змішувальну камеру, де вона з'єднується з дрібнодисперсним абразивом і потрапляє в формуючий струмінь. Залежно від матеріалу деталі вона може мати діаметр від 0,6–1,2 мм. В ріжучій голівці енергія тиску технологічної рідини перетворюється в кінетичну енергію, прискорюється з утворенням тонкого, всього в десяти частки міліметра, сфокусованого струменя, що служить в якості інструменту для ГАТ.

Установка ГАТ обладнана системою ЧПУ для координації процесу обробки за заданою програмою і управління приводами переміщення порталу, каретки, супорта, решітки і електродвигуна для кругового руху деталі типу тіло обертання, забезпечуючи зручність її експлуатації і якість готових виробів. Система ЧПУ за програмою забезпечує повільне підведення ріжучої голівки до оброблюваної деталі типу тіло обертання, а за рахунок вертикальних, поздовжніх і поперечних переміщень (v_v , $v_{\text{пов}}$ і v_n) порталу, каретки і супорта, забезпечує ріжучій голівці ГАТ деталі типу тіло обертання за розмірами креслення. Після закінчення ГАТ система ЧПУ відключає подачу абразиву і технологічної рідини, відводить ріжучу голівку, зупиняє електродвигун і оброблену деталь знімають з повідкового патрону та центрів для її контролю.

Використання пропонованої установки ГАТ дозволяє точити різні матеріали без виділення теплової енергії, так як вона відразу поглинається технологічною рідиною. Крім цього не потрібні складні і важкі пристосування для кріплення і

фіксації заготовки. Струмінть технологічної рідини не робить такого сильного впливу на заготовку як механічні інструменти (різець, фреза або пила) і забезпечує якість обробленої поверхні деталі типу тіло обертання, підвищивши їх довговічність і зменшивши витрати на експлуатацію та обслуговування.

Література:

1. Саленко, О. Ф. Ефективне гідрорізання / А. Ф. Саленко, В. Б. Струтинський, М. В. Загірняк.– Кременчук: КДПУ, 2005.– 488 с.
2. Bale, N. Software solution for abrasive water jet milling process / N. Bale, A. Popan, P. Berce, A. Luca // Technical University of Cluj-Napoca.– Faculty of Mechanical Engineering.– 2001.
3. Mark, J. Machining with Abrasives / J. Mark, J.M. Jackson, J. P. Davim, M. P. Hitchiner, T. Tawakoli, A. Rasifard, L. C. Zhang, J. Liu, C. Xu, H. Huang, L. Zhou, L. Yin, Y. M. Ali, J. Wang // Purdue university MET, Center for advanced manufacturing college of technology West Lafayette USA.– 2011.
4. Mehdi, Z. Modeling of Abrasive Water jet Turning / Z. Mehdi, Z. Iman // Australian Journal of Basic and Applied Sciences.– 2011.– № 5(8).– P. 70–79.
5. Fowler, G. Abrasive water jet controlled depth milling of titanium alloys / G. Fowler // Thesis submitted to the university of nottingham for the degree of doctor of philosophy.– 2003.
6. Hashish, M. Turning with abrasive water jets – a first investigation / M. Hashish // ASME Journal of Engineering for Industry.– 1987.– № 109(4).– P. 281–290.
7. Клименко, С. А. Патент UA № 146145. Установка для гидроабразивного точения / С. А. Клименко, В. В. Бурикін, С. Ан. Клименко; Заявка № u202005813 від 10.09.2020; Оpub.21.01.2021 // Промислова власність.– 2021.– Бюл. № 3.

УДК 621.6.04

В.Д. Рудь, д.т.н., проф.,

Н.А. Христинець, к.т.н., ст. викл.,

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОНИКНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасний етап розвитку матеріалознавства характеризується процесами неперервного збагачення новими ідеями отримання матеріалів, які мають покращені властивості і задовольняють усім вимогам, що висуюються до такого роду матеріалів. Серед нових методів формування градієнтних проникних матеріалів можна виділити наступні: 3D-друк, отримання шаруватих структур методами вібраційного навантаження, отримання

аморфних, полікристалічних шарів на поверхні матеріалів, нанесення композиційних покриттів тощо [1].

Впровадження таких матеріалів у виробництво зазвичай обмежене, з одного боку, технологічними можливостями відомих прийомів і методів отримання, а з другого боку – оберненою залежністю ряду властивостей від параметрів виготовлення. Протиріччя полягають, наприклад, у вимогах до фільтрувальних матеріалів: мати одночасно високу проникність і тонкість фільтрування. Для виготовлення фільтрувального матеріалу з високою проникністю необхідно виготовляти їх з порошків з частками більшого розміру, а це, в свою чергу, призводить до зниження деяких експлуатаційних характеристик, наприклад, тонкості фільтрування. Тому, у кожному конкретному випадку зупиняють вибір на такому способі отримання, який дозволяє забезпечити оптимальне поєднання цих властивостей.

Аналіз відомих способів формування пористих структур матеріалів [2] показує, що для підвищення проникності потрібно намагатись досягти збільшення пористості та використовувати порошки з формою часток, що ближча до сферичної, з гладкою поверхнею, а також за рахунок збільшення геометричних розмірів готового виробу і зменшення його товщини. Досліджено [3], що відновлення, відпал, а також обкочування вихідних порошків для округлення частинок порошку перед формуванням виробів дозволяє збільшити їх проникність на 35–40%. Збільшенню коефіцієнта проникності сприяє також спікання заготовок методами СВС. Експериментально досліджено, що для виготовлення пористих проникних фільтрувальних матеріалів з високою проникністю перспективним є використання порошків титану, нержавіючої сталі марки AISI430, оскільки вони володіють відмінною корозійною тривкістю навіть у агресивних середовищах. Для отримання пористих матеріалів із сферичних порошків титану, а також з інших тугоплавких порошків перспективним є метод електроімпульсного спікання, що базується на пропусканні потужного короткочасного імпульсу струму через порошок за допомогою генератора імпульсних струмів. Після такого впливу імпульсу відбувається локальний розігрів часток в зоні контакту і їх спікання. Отримати вироби з порошків титану та нержавіючої сталі AISI430 методами ізостатичного однобічного пресування складно, проте застосування сучасних методів попередньої обробки з використанням зв'язувальних речовин робить процес отримання пористих проникних матеріалів економічно виправданим [4].

Підвищення проникності матеріалів за рахунок збільшення геометричних розмірів поверхні фільтрації) однозначно приводить до збільшення габаритів та маси готового виробу, що у ряді випадків є не тільки економічно не виправдано, а й не доцільно. Зменшення товщини проникних матеріалів не завжди є альтернативним рішенням: вибір товщини матеріалу повинен задовольняти вимогам механічної міцності готового продукту, а товщина заготовки повинна, як мінімум, задовольняти умову критичної товщини.

Аналіз методів вдосконалення властивостей пористих проникних матеріалів може слугувати передумовою для розрахунків моделей формування та

створення матеріалів з високою проникністю, брудоемністю та заданою рівномірністю поророзподілу за об'ємом виробу.

Література:

1. Градиентные материалы в технике : монография / Ю. Н. Кочкин, Е. И. Марукович, Ю. Л. Станюленис. – Могилев : Белорусско-Российский ун-т, 2008. – 163 с.
2. Витязь П.А. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов. / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, А.Г. Косторнов // М.: Металлургия, 1993. – 240 с
3. Гальчук Т.Н. Вдосконалена технологічна схема переробки шламових відходів машинобудування / Т.Н. Гальчук. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №4. – С. 26–30.
4. Рудь В.Д., Христинець Н.А. Економічне обґрунтування створення градієнтних матеріалів на основі порошків сталі та сапоніту методом вібросегрегації // Матеріали II Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2021». – Вінниця: 13–15 травня 2021 р. – С.84

УДК 621.391

В.І. Юрковець, асп.,
С.П. Вислоух, к.т.н., доц.,
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

УМОВИ СКЛАДАЄМОСТІ ВІССЕ-СИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Перед початком проектування автоматизованих систем складання необхідно забезпечити умови складаємості деталей, при яких похибки відносного розташування сполучених поверхні деталей не перевищують своїх допустимих значень. В результаті цього забезпечується таке поєднання просторового відносного положення деталей, при якому відбувається їх автоматичне з'єднання без порушення якості поверхонь, що сполучаються[1].

Надійність автоматизованого складання циліндричних деталей, як і будь-яких операцій, що реалізують механічне переміщення, визначається відповідністю руху виконавчого механізму, його об'єктивні закономірності руху, що визначаються особливостями відносного розташування деталей[2].

Тому в данній роботі буде проведений опис умов складаємості віссесиметричних деталей.

Результати досліджень

Після подачі деталей, що збираються на складальну позицію автомата, для забезпечення їх автоматичного складання і якості з'єднання необхідно виконати наступні умови автоматичної збирання деталей [3]:

- умова суміщення поверхонь, що сполучаються:

$$\Delta \sum(N) \leq \epsilon(N) \quad (1)$$

- умова відносного кутового положення деталей в перерізі, перпендикулярному до осі:

$$\gamma \sum(N) \leq \gamma(N) \quad (2)$$

- умова відносного положення деталі уздовж осі сполучення:

$$\Delta \sum(N_0) \leq \Delta_0(N_0) \quad (3)$$

- умова відносного кутового положення деталей навколо осі сполучення:

$$\phi \sum(N) \leq \phi(N) \quad (4)$$

- умова необхідного зусилля приводу:

$$D_{(N)} \geq D_{A(N)} \quad (5)$$

- умова обмеження зусилля в місці контакту:

$$D \sum E(N) \geq D_{E(N)} \quad (6)$$

Де $\Delta \sum(N)$ та $\epsilon(N)$ – сумарні дійсні і допустимі значення відносних зсувів осей поверхонь, що сполучаються деталей, що збираються в площині, перпендикулярній їх осі сполучення (збірки) протягом часу T від початку до закінчення процесу автоматичного з'єднання деталей;

$\gamma \sum(N)$ та $\gamma(N)$ – сумарні дійсні і допустимі значення кутів відносного перекоосу осей поверхонь, що сполучаються деталей, що збираються протягом часу T ;

$\Delta \sum(N_0)$ та $\Delta_0(N_0)$ – сумарна дійсна і допустима похибки відносного зміщення положення сполучених або координованих поверхонь деталей, що складаються уздовж їх осі сполучення в момент часу T_0 закінчення їх автоматичного з'єднання (закріплення);

$\phi \sum(N)$ та $\phi(N)$ – сумарні дійсні і допустимі значення кутів відносного повороту сполучених або координованих поверхонь деталей, що складаються навколо осі їх сполучення протягом часу T ;

$D_{(N)}$ – максимальні значення сил (вісьових, крутних моментів), що розвиваються приводом виконавчого (складального) механізму автомата протягом часу T ;

$D \sum E(N)$ та $D_{E(N)}$ – максимальні значення сил (вісьових, крутних моментів), необхідних для виконання автоматичного сполучення (закріплення) деталей, що складаються протягом часу T ;

В процесі виконання автоматичного з'єднання деталей (тобто протягом часу T від початку до закінчення процесу з'єднання деталей) відбуваються зміни відносного положення деталей, геометричних, жорсткісних, силових і динамічних параметрів процесу складання, що призводить до зміни значень величин. Тому для забезпечення автоматизованого складання деталей необхідно, щоб умови, які визначаються виразами (1) – (6), були виконані на всіх етапах автоматичного з'єднання деталей з урахуванням впливу динаміки

протікання процесу складання (таб.1). Виявлення характерних етапів процесу автоматизованого з'єднання деталей і визначення умов їх автоматичного складання, здійснюється на основі розгляду послідовності автоматичного з'єднання деталей для конкретного складального механізму.

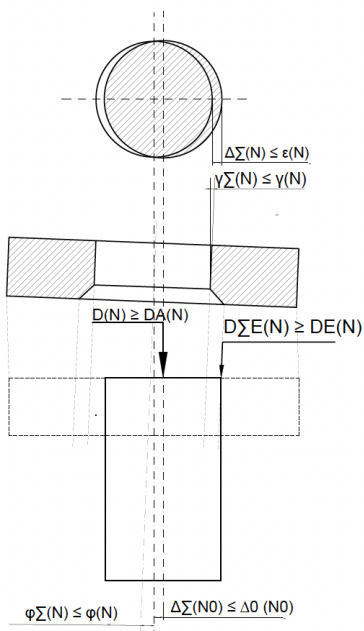


Рис.1. Схема умов складаємості віссє-симетричних деталей

Висновки

У статті приведено опис умов складаємості віссє-симетричних деталей, а також побудована схема яка визначає необхідні умови складуваності системи, що забезпечує надійність процесу складання до початку виконання операцій. Отримано структурна схема умов складаємості. Запропонована схема може бути корисна при дослідженнях або проектування автоматизованого процесу складання за допомогою імітаційного моделювання. З їх використанням можна проводити оцінку параметрів системи або початкових умов на точність, надійність, стійкість системи, а також допомагає визначити складуваність системи і запобігти виникненню зупинки процесу складання. Перспективним напрямком використання розробленої моделі може бути синтез системи, що забезпечує необхідні початкові характеристики віссє-симетричних деталей до початку процесу складання а також комп'ютерне моделювання процесу складання.

Література:

1. Черняховская Л.Б., Математический анализ процесса автоматической сборки цилиндрических деталей / Самарский государственный технический университет/ г. Самара – 2013. – С. 132–142.

2. Замятин А.В., Совершенствование технологии автоматизированной сборки деталей приборов типа «вал-втулка» на основе комплексного выбора параметров сборочного процесса. /Московский государственный университет приборостроения и информатики, – 2012. – С. 172.

3. Дмитриев С.И., Солнышкин Н.П., Технология автоматизированной сборки / Псков Издательство ППИ 2009, 68с.

УДК 621.089

О.О. Клочко, д.т.н., проф. ¹,

Є.В. Корбут, к.т.н., доц. ²,

Н.С. Равська, д.т.н., проф. ²,

Р.П. Родін, к.т.н. ²,

В.С. Парненко, к.т.н., ст. викл.,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут» ¹,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ²

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІВ МЕТОДА ГРУПОВОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

В основі створення штучного інтелекту, розробки складних систем, об'єктів та процесів, їх прогнозування та управління ними в будь-якій діяльності суспільства лежать методи математичного моделювання. При математичному моделюванні існує два різних підходи, коли структура моделі задається та метод заснований на евристичній самоорганізації.

В роботі розглядається метод математичного моделювання, призначений для побудови моделей технічних систем, об'єктів та процесів, заснований на принципі евристичної самоорганізації за неповними і неточними даними. Теорія самоорганізації моделей реалізована в алгоритмах групового врахування аргументів МГВА. Особливості алгоритмів МГВА полягають в тому, що вид опорної функції, клас рівнянь та структура моделей встановлюється за допомогою перебору варіантів по доцільно вибраним критеріям (індуктивний метод). Основний принцип самоорганізації моделей, сформульований А.Г.Івахненко, передбачає при поступовому збільшенні складності моделі в процесі її селекції значення критерія спочатку падає, досягаючи мінімуму, а потім залишається постійним або збільшується [1].

Алгоритми МГВА характеризуються структурною спільністю, в яких принцип самоорганізації забезпечується восьми принципами побудови алгоритмів МГВА, а саме:

– принципи зовнішнього критерія;

- Геделівський підхід при самоорганізації моделей;
- критерії селекції;
- розподіл таблиць експериментальних даних (спост.... на дві частини)
- гіпотеза селекції;
- принципи збереження свободи вибору;
- застосування евристичних критеріїв;
- одночасне моделювання на різних рівнях спільності мови математичного моделювання.

Основна структура алгоритмів МГВА може бути представлена наступними блоками [2]:

- попередня обробка спостережень з врахуванням системи вибраних опорних претендентів – БЛОК 1
- генерація множини моделей претендентів БЛОК 2
- розрахунок критеріїв селекції (зовнішніх та внутрішніх) БЛОК 3

При будь-якому дослідженні в період постановки задач, збору даних і т.п. завжди присутня дія евристичних методів самоорганізації. З цього принципу розглядається побудова алгоритмів МГВА [3].

В найбільшій мірі основний принцип побудови алгоритмів МГВА проявляється у другому структурному блоці.

В залежності від апріорних знань в алгоритмах МГВА використовуються різні опорні функції. Багаторядні алгоритми розрізняються за видом опорних функцій.

Використання алгоритмів здійснюється за певними правилами. Чим складніше задача селекції, тим більше необхідно рядів для одержання необхідної складності моделі.

Багаторядні структури МГВА базується на основі селекції і свободи вибору рішень та здійснюється за допомогою критеріїв селекції.

Особливості побудови алгоритмів МГВА розглянемо на прикладі моделювання процесів різання [4].

В науці про різання моделі описується ступеневими функціями. Цим пояснюється вибір класу ступеневих поліномів для побудови алгоритмів, призначених для одержання моделей процесів різання. Загальна схема побудови алгоритмів наведена на рис. 1.

Робота алгоритму починається зі вводу вихідних даних. Наступним етапом є поділ вихідних даних на навчальну (НЧ) на перевіірочну послідовність (ПР).

Для цього застосовуються вторинні критерії.

У модифікованому спрощеному алгоритмі, призначеному для моделювання процесів різання таким критерієм є мінімум рядів селекції. При цьому виконується ряд процедур.

Спочатку здійснюється нормування змінних тобто вираховують координати «центральної точки» масиву вихідних даних. Розраховується квадрат середньозваженої відстані ρ^2 по всім вхідним змінним. По параметру ρ^2 ранжуються вузли інтерполяції і поділяються на дві послідовності.

Розширюють простір змінних і задається масштабність «вихідних» величин.

На другому етапі здійснюється селекція моделей претендентів на кожній послідовності і по мінімуму коефіцієнта зміщення вибирають на основі принципу свободи вибору претенденти на кожному з рядів селекції.

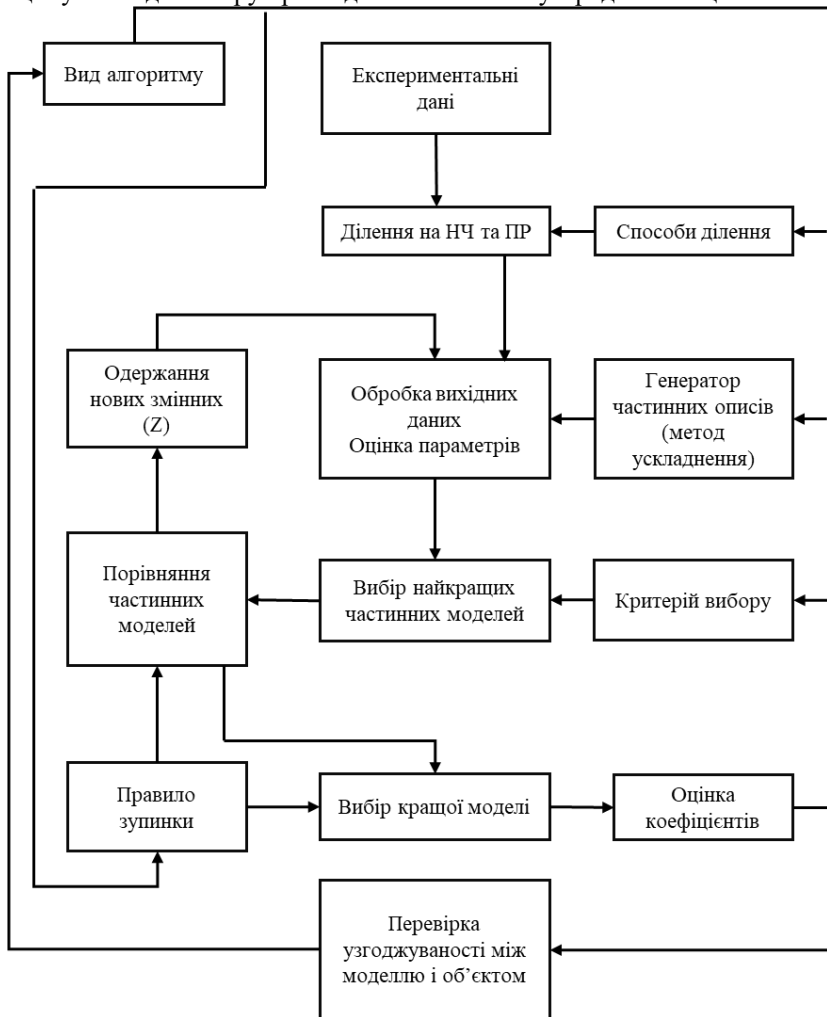


Рис. 1. Загальна схема побудови МГВА

По даним навчальної та перевірконої послідовності на кожному ряду селекції проводять контрольний розрахунок похибки апроксимації моделі. По значенню похибки апроксимації приймається рішення про зупинку многорядної процедури ускладнення моделі.

Література:

1. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике / А.Г. Ивахненко. – К.: Техніка, 1971. – 372 с.

2. Равская Н.С.. Разработка прогрессивных режущих инструментов на основе моделирования их работы методом самоорганизации: дисс.....доктора техн.наук 05.03.01. / Равская Наталья Сергеевна, – К.: 1991 –372 с.

3. Джимми У.К. Искусственные нейронные сети управления технологическими процессами. Часть 1, Control Engineering, – №3 (63). – 2016. – С. 62–66.

4. Равская Н.С. Нейронные сети, учитывающие физические явления, сопровождающие процесс резания / Н.С. Равская, А.А. Клочко, А.Ю. Заковоротный, Е.В. Корбут, Р. П. Родин // Mechanics and Advanced Technologies. – № 2 (89), 2020. – С. 155–162.

УДК 621.941.1

В.К. Фролов, к.т.н., доц.¹,

В.А. Яновський, доц.²,

Б.Г. Коцюба, студ.¹,

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»¹,
Державний університет «Житомирська політехніка»²*

ВІРТУАЛЬНЕ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК СКЛАДНОЇ ФОРМИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Перед обробленням заготовки її необхідно зорієнтувати відносно осей координат верстата, тобто виконати її базування. Відомі наступні способи базування заготовок:

- за допомогою вивірки, при якому положення кожної заготовки регулюють вручну з використанням універсального вимірювального інструмента; спосіб малопродуктивний, тому використовується в одиничному виробництві або при обробленні великогабаритних деталей;

- в пристроях, які попередньо зорієнтовані відносно осей координат верстата; спосіб не завжди точний через появу похибки установки, але високопродуктивний, при цьому вартість пристрою збільшує загальну вартість оброблення;

- віртуальне базування, при якому заготовка встановлюється на столі верстата випадковим чином з подальшим визначенням її реального розташування і корекцією керуючої програми верстата; спосіб може бути використаний тільки при обробленні заготовок на верстатах з ЧПК.

Визначення реального розташування заготовки при її віртуальному базуванні може здійснюватись або скануванням зони з заготовкою лазерною системою, або обмацуванням заготовки щупами контрольно-вимірювальної

системи [1], або цифровим фотографуванням зони із заготовкою [2] з подальшим обробленням інформації і передачею її в систему ЧПК верстата.

Але базування заготовок складної форми, із закритими конструктивними елементами (наскрізними та глухими отворами, наскрізними, напіввідкритими та закритими пазами, лисками), розташованими в площинах, перпендикулярних до базової площини, значно ускладнюється та сповільнюється через необхідність визначати положення заготовки в трьох взаємно перпендикулярних площинах.

Для підвищення продуктивності процесу базування авторами запропонований інноваційний спосіб визначення реального положення таких заготовок. Спосіб реалізують наступним чином.

Перед встановленням на стіл 1 верстата кожен із заготовок партії позначають міткою 2, яка визначає місце розташування закритого конструктивного елемента 3 відносно базових поверхонь заготовки (рис. 1). Мітку 2 наносять будь-яким способом – фарбуванням, кернуванням, механічним або лазерним гравіюванням, за допомогою маркера, наклейки-стикера тощо.

На стіл верстата 1 встановлюють першу заготовку з партії, яка є еталонною заготовкою 4, орієнтуючи її за допомогою вимірювальних інструментів за міткою 2 та базовими поверхнями 5 і 6 таким чином, щоб осі її системи координат $X_{e.з.}, Y_{e.з.}$ були паралельні осям системи координат верстата XU . При цьому положення осей системи координат $X_{e.з.}, Y_{e.з.}$ еталонної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 5 і 6, а положення точки $O_{e.з.}$ початку системи координат – положенням мітки 2 відносно базових поверхонь 5 і 6 (рис. 2). Розташування точки $O_{e.з.}$ початку системи координат $X_{e.з.}, Y_{e.з.}$ еталонної заготовки відносно точки O початку системи координат XU верстата визначається координатами $x_{0\ e.з.}, y_{0\ e.з.}$. Координати точки $O_{e.з.}$ відповідають координатам «нуля» заготовки в керуючій програмі.

Виконують цифрове фотографування еталонної заготовки 4 в площині XU . Цифрову фотографію 7 еталонної заготовки передають до комп'ютерної програми.

Еталонну заготовку 4 оброблюють за допомогою керуючої програми та знімають зі стола верстата.

На стіл верстата 1 встановлюють оброблювану заготовку 8 довільним чином (рис. 3). При цьому положення осей системи координат $X_{o.з.}, Y_{o.з.}$ оброблюваної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 9 і 10, а положення точки $O_{o.з.}$ початку системи координат – положенням мітки 2 відносно базових поверхонь 9 і 10.

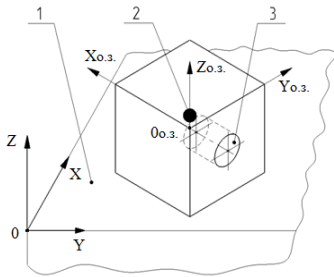


Рис. 1. Схема координат XYZ верстата та схема координат $X_{0.3}, Y_{0.3}, Z_{0.3}$ довільним чином встановленої заготовки із закритим конструктивним елементом (глухим отвором)

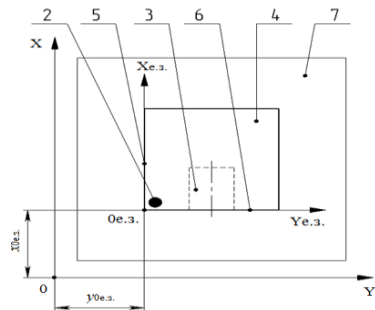


Рис. 2. Зображення положення еталонної заготовки відносно осей системи координат верстата в площині XY, отримане цифровим фотографуванням

Виконують цифрове фотографування оброблюваної заготовки 8 в площині XY. Фотографування еталонної та оброблюваної заготовки здійснюють з однієї й тієї ж позиції, в результаті отримуючи фотографії однакової роздільної здатності. Цифрову фотографію 11 оброблюваної заготовки передають до комп'ютерної програми.

В комп'ютерній програмі створюють шаблон зображення еталонної заготовки, використовуючи контраст між об'єктом (заготовкою) та фоном (столом верстата). Точку $0_{e.3}$ початку системи координат $X_{e.3}, Y_{e.3}$ еталонної заготовки ідентифікують на шаблоні, використовуючи контраст між об'єктом (міткою) та фоном (еталонною заготовкою). Накладають фотографію 7 еталонної заготовки на фотографію 11 оброблюваної і, використовуючи зображення еталонної заготовки в якості шаблону, сканують фотографію оброблюваної заготовки. Після суміщення зображення еталонної заготовки 4 із зображенням оброблюваної заготовки 8 програмно визначають величину кута повороту φ системи координат $X_{0.3}, Y_{0.3}$ оброблюваної заготовки відносно системи координат $X_{e.3}, Y_{e.3}$ еталонної заготовки та координати $x_{0.3.}, y_{0.3.}$ розташування точки $0_{0.3}$ початку системи координат $X_{0.3}, Y_{0.3}$ оброблюваної заготовки відносно точки $0_{e.3}$ початку системи координат $X_{e.3}, Y_{e.3}$ еталонної заготовки (рис. 4). Кутову поправку $\Delta\varphi = \varphi$ та лінійні поправки $\Delta x = x_{0.3.}, \Delta y = y_{0.3.}$ вводять в керуючу програму верстата з урахуванням їхнього знаку.

Виконують оброблення заготовки за допомогою корегованої керуючої програми.

УДК 631.171.075.3

Я.П. Коваленко, асп.,
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.,
Державний університет «Житомирська політехніка»

СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОБАРИЧНИХ ЯВИЩ, ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕХАНІЗМИ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ З ПКНБ ГРУПИ VL ПРИ ОБРОБЦІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Подальший розвиток машинобудівної промисловості передбачає широке застосування нових високоефективних матеріалів, які мають покращені техніко-економічні показники. Перспективними є різальні інструменти з надтвердих матеріалів, а саме із полікристалічних композитів на основі кубічного нітриду бору групи VL. Застосування полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) обумовлено високими фізико-механічними властивостями, стійкістю під дією високих температур і контактних напружень.

Процес різання загартованих сталей інструментами із ПКНБ супроводжується виникненням явищ, характерних для високошвидкісної обробки, а саме – температурами 1100–1200°C, інтенсивним протіканням складних механо-хімічних процесів контактної взаємодії в зоні різання. Наявність таких процесів істотно впливає на якість обробленої поверхні, продуктивність обробки та стійкість різального інструменту.

Продуктивність і собівартість технологічного процесу визначаються часом, який витрачається на виконання окремих операцій, і залежить від встановлених на них режимів різання. Призначення режиму різання неможливе без знання основних законів продуктивного різання, що базуються на процесах, які відбуваються у зоні деформації і на контактних поверхнях інструменту.

Якість деталей, що випускаються, визначається точністю їх геометричних форм і шорсткістю обробленої поверхні. При певній жорсткості деталі похибки форми залежать від величини і напрямку сил, діючих у процесі оброблення. Таким чином, їх потрібно знати й уміти визначати.

Похибки форми деталі, викликані розігріванням заготовки та інструменту, можна розрахувати, знаючи їх температуру, для чого необхідно мати дані про теплові явища, супутні перетворенню зрізуваного шару, на стружку.

Режими різання при обробці загартованих сталей інструментом із ПКНБ залежать від матеріалу заготовки, умов обробки і потрібної якості обробленої поверхні. При обробці виробів із сталі твердістю 60 HRC оптимальна швидкість різання може досягати 3,33 м/с.

Практичне використання інструментів із ПКНБ дає ряд переваг, а саме:

- високу продуктивність обробки за рахунок високої швидкості різання;
- високу гнучкість використання (підрізання торців, зняття фасок та ін.);
- процес набагато простіший за шліфування на фінішних операціях;

- можливість уніфікації обладнання для повної обробки деталей;
- безпечний та екологічно чистий процес обробки.

При обробці загартованих сталей та сплавів інструментами із ПКНБ підвищуються температури, які виникають при високошвидкісному обробленні матеріалів. Такі високі температури істотно впливають на працездатність та стійкість різального інструменту, якість отриманої поверхні та працездатність вузлів верстата. Різальна кромка інструменту піддається дії високих напружень та температур, що викликає його зношування через один або декілька механізмів. Ці механізми залежать від геометричних параметрів різального інструменту, матеріалу заготовки, навколишнього середовища, механічних і теплових навантажень на робочих поверхнях інструменту. [1,2,3,4]

На сьогодні існує велика маса методів вимірювання в зоні різання, всі вони мають свої як позитивні так і негативні сторони. Очевидно, що лиш ті методи можуть давати достовірні результати, які забезпечують вимірювання температури в контактній зоні, де розвивається максимальна температура. Експериментальне визначення цієї температури пов'язано з великими труднощами зважаючи на неможливість підводу вимірювальної апаратури в зону різання. Вірогідно саме цим пояснюється розбіжність даних отриманих різними дослідниками, а також те, що не один із методів вимірювання температури різання не являється загально визнаним.

Література:

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. –2011. – 22 с.
2. Клименко С.А. Підвищення стійкості інструментів із полікристалічного кубічного нітриду бору при точінні загартованих сталей застосуванням покриття, Київ, 2015. – 15 с.
3. Резніков А.Н. Теплофізика різання, «Машинобудування», 1969. – 116 с.
4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов : учебник / В.Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 44 с.

УДК 621.9.06

В.М. Буховець, к.т.н.,
В.Н. Волошин, к.т.н., доц.,
І.В. Луців, д.т.н., проф.,

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

ВПЛИВ ПОХИБОК СИСТЕМИ ЗАТИСКУ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

Багатоінструментальна токарна обробка одночасно однієї або декількох поверхонь є одним із способів підвищення продуктивності [1]. Резерви підвищення ефективності такої обробки багатосупортними токарними верстатами з ЧПК знаходяться в раціональному поєднанні обробки поверхні (або поверхонь) заготовки при спільній частоті обертання шпинделя. Таке поєднання значною мірою залежатиме від похибок, які виникають в процесі паралельної токарної обробки. А вони визначаються просторовим розташуванням інструментів в зоні обробки та одночасним впливом усіх складових сил різання від усіх інструментів, які беруть участь в обробці, пружними переміщеннями формують формують систему верстата вздовж всіх координат, його геометричною точністю та ін. Система затиску є важливою підланкою такої формують формують ланки багатосупортних токарних верстатів з ЧПК як шпиндельний вузол, що безпосередньо бере участь у формують формують поверхонь. На долю пружних радіальних переміщень системи затиску припадає 30÷50% загальної деформації шпиндельних вузлів [1, 2]. При цьому радіальна жорсткість по куту повороту при незмінному напрямку навантаження і вимірювання пружних зміщень змінюється до 25÷30% [1, 2]. Тому похибки системи затиску повинні враховуватися в загальному балансі точності металорізальних систем для паралельної токарної обробки.

Для оцінки впливу похибок затискного пристрою на похибки оброблюваної деталі використано розроблену аналітичну модель, отриману із векторного балансу точності металорізальних систем для паралельної токарної обробки [3, 4]. Приймаючи похибки ланок і підланок формують формують системи для дворізової паралельної токарної обробки, які не пов'язні із затискним пристроєм, і їх відносні переміщення абсолютно точними, вектори похибок положення точок оброблюваних поверхонь отримаємо у вигляді:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta r_{01}} &= \varepsilon_0 A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^1) A_{23}^1(x^1) \cdot \overline{r_{31}}; \\ \overline{\Delta r_{02}} &= \varepsilon_0 A_{01}^6(\varphi) A_{12}^3(z^2) A_{23}^1(x^2) \cdot \overline{r_{32}}\end{aligned}\quad (1)$$

де $\overline{r_{31}}, \overline{r_{32}}$ – радіус-вектори точок першого та другого різця відповідно;

$\overline{r_{01}}, \overline{r_{02}}$ – радіус-вектори точок першого та другого різця в системі координат заготовки;

$A_{01}^6(\varphi)$ – матриця повороту навколо осі Z ;

$A_{12}^3(z^1)$, $A_{12}^3(z^2)$ – матриці переміщень вздовж осі Z ;

$A_{23}^1(x^1)$, $A_{23}^1(x^2)$ – матриці переміщень вздовж осі X ; ε_0 – матриця

повної похибки положення затискного пристрою, як підланки шпиндельного вузла.

Залежність (1) дозволяє встановити вплив похибок системи затиску на точність оброблених поверхонь при паралельній токарній обробці.

У роботі запропоновано методику визначення елементів матриці повної похибки положення ε_0 затискного пристрою, складовими якої є малі лінійні переміщення (лінійні похибки положення) та малі повороти (кутові похибки положення). Її основою стала розроблена пружно-деформаційна модель затискного пристрою із заготовкою, що дозволяє врахувати зміщення в місцях спряжень заготовки і затискних елементів в результаті дії сил затиску та сил різання, які виникають при дворізцевій паралельній токарній обробці.

За допомогою розроблених моделей проведена оцінка впливу затискного пристрою на вихідну точність циліндричної поверхні при дії силового навантаження, яке виникає в процесі дворізцевої паралельної токарної обробки. Точність паралельної обробки циліндричної поверхні визначалась по відхиленню радіуса циліндра вздовж твірної при різних кутових положеннях затискного пристрою.

Література:

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
2. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: монографія / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби. – Габрово: «Васил Априлов», 2010. – 724 с.
3. Lutsiv I. Shape forming system model of lathes two-carriage tool systems/ I. Lutsiv, V. Voloshyn, V. Buhovets // Scientific journal of the Ternopil national technical university. – 2018 – №3 (91) – pp. 80–87.
4. Луців І.В. Модель точності металорізальних систем для паралельної токарної обробки / І.В. Луців, В.Н. Волошин // Матеріали ХІХ міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – Краматорськ: ДДМА, 2021.– С. 88–89.

УДК 621.8

В.М. Нечипоренко, к.т.н., доц.,

В.А. Сало, д.т.н., проф.,

Національної академії Національної гвардії України

МЕТОД ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗНАЧЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСАДКИ З НАТЯГОМ ПРИ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ

Перед сучасною машинобудівною галуззю висуваються підвищені вимоги до ресурсозбереження (трудо-, матеріало- і енергоємності), а також ефективності та якісного технічного оснащення, надійності, економічності й продуктивності, зменшення шуму і вібрацій сучасних машин і механізмів, що розробляються і модернізуються, та їх окремих вузлів і деталей. Перелічені фактори мають відповідати вимогам світової нормативної документації. Забезпечення таких показників досить важлива задача, як для проектувальника технічних виробів, так і для звичайного робітника, що експлуатує і обслуговує ці вироби.

Під час виготовлення, проведення експлуатації й ремонту вузлів і агрегатів верстатного обладнання велику увагу також слід приділяти використанню надійних методів технологічних процесів складання деталей вузлів і складальних одиниць технічних виробів. Часто для цієї мети використовують такі види з'єднань, як посадки з гарантованим натягом по гладкій поверхні. Вони мають широке застосування, оскільки їх виробництво не вимагає великих витрат, а спряжені деталі можуть сприймати значні навантаження, як статичні так і змінні (передача значних осьових зусиль, крутних моментів або навантажень і т. і.), тому їх довговічність при певних умовах та режимах експлуатації цілком достатня.

Основне призначення посадки з натягом полягає у забезпеченні жорсткого нерухомого умовно нероз'ємного зв'язку однієї деталі з'єднання відносно іншої по приєднувальній поверхні за рахунок внутрішніх пружних деформацій. Деталі, що входять до складу виробів з натягом, як правило, проектуються методами прецедентів і подібності, враховуючи суб'єктивний досвід проектування та досвід використання у виробництві, які не завжди можуть відповідати вимогам надійності, що пред'являються до даного виробу в цілому. Досить часто для застосування цих гладких спряжень рекомендується попередня дослідна перевірка, що потребує введення поправочних коефіцієнтів та кореляції проектного розрахунку. Ця ситуація призводить до того, що вартість таких методів для розглянутих з'єднань не завжди є раціональною за вищезначеними вимогами, що не дозволяє виявити резерви підвищення якості з'єднань. В такому випадку конструктору-проектувальнику досить важко спрогнозувати величину дійсного натягу і складно її врахувати під час типового розрахунку, оскільки вона носить випадковий характер. Такий факт є відносно складною багатоваріантною задачею, вирішення якої залежить від

можливостей виробництва і безлічі конструктивно-технологічних особливостей вузла, для якого буде здійснюватися виготовлення та подальше складання з'єднання. На етапі проектування виробу формується також визначальна концепція норм точності, що полягає у здійсненні пошуку оптимальних параметрів посадки та є актуальною проблемою інженерної практики при прийнятті конструктором остаточного проектного рішення. Тому для вирішення цієї проблеми на виробництві необхідно мати не тільки якісне встановлення та засоби контролю й вимірювання, але й відповідну сучасну ступінь автоматизації процесу проектування.

На даний час є широкий спектр пакетів прикладних програм, що розрізняються за своїми функціональними можливостями і способами реалізації та які є інструментом автоматизації вирішуваних користувачем завдань з обробки інформації. Одним з методів підвищення якості з'єднань з натягом є вибір раціонального проектного рішення шляхом застосування комплексного підходу до автоматизованого проектування посадок з натягом за допомогою розроблених авторами алгоритмічних і програмних засобів у вигляді комп'ютерної програми «Interference Fit» [1], що використовується для автоматизованого проектування раціональних посадок з натягом та яка може бути інтегрована у інформаційну технологію CAE/CAD/CAM).

У роботі вирішувалася актуальна задача, що полягає у розробці теоретичних основ математичного моделювання і програмних засобів автоматизованого проектування раціональних посадок з натягом. На основі однієї з серії чисельно-аналітичних досліджень результатів автоматизованого розрахунку, отриманих за допомогою комп'ютерної програми «Interference Fit», синтезовано параметричну двомірну модель області існування геометричних параметрів (ОГП) придатних стандартних посадок з натягом у вигляді геометричного образу – плоскої фігури з її наступним візуальним аналізом [2]. Розглядувана модель, поверхнею якої обмежуються допустимі критерії придатності, побудована в координатній площині dl з координатними осями Od і Ol (d – посадковий діаметр і l – робоча довжина спряжених поверхонь з'єднання). В результаті проведеного дослідження в роботі побудовані границі критичних мінімально допустимих і максимальних рекомендованих геометричних значень охоплюючої деталі з'єднання, котрими обмежується ОГП придатних стандартних посадок з натягом, що відповідають заданим умовам і допустимим проектним рішенням. В межах указаній моделі проектувальнику слід знаходити раціональні значення ОГП. На основі подальшого дослідження [3] авторами сформульовано критерій до пошуку раціонального сполучення чисельних значень основних геометричних параметрів – діаметра і робочої довжини з'єднання. Реалізований метод полягає у визначенні центра групування шуканих величин – точки B , котра є перетином відрізків діапазонів зміни значень діаметра і робочої довжини посадкового з'єднання.

Досліджувану плоску модель допустимих і рекомендованих значень ОГП та її границі, які обмежені кривими мінімально допустимих критичних і максимальних рекомендованих значень робочої довжини та прямими

мінімально і максимально рекомендованими границями діаметра для охоплюючої деталі з'єднання аналітично описані із застосуванням математичного апарату теорії R -функцій. За допомогою вказаного математичного апарату також аналітично описані відрізки діапазонів зміни значень діаметра і робочої довжини посадкового з'єднання, перетин яких утворює точку B , а також завдання точки групування C_i [4] в межах множини кожної i -ї придатної стандартної посадки з натягом.

В результаті проведеного чисельно-аналітичного дослідження сформульовано узагальнений критерій вибору посадки з натягом з переліку альтернативних залежно від раціонального сполучення значень геометричних параметрів. Таке проектне рішення перевірено за іншим окремим критерієм, який сформульовано в попередніх дослідженнях авторів, що показало збігання їх результатів для вибору остаточного рішення, чим підтверджується його ефективність і достовірність. Запропонований метод надає змогу максимально наблизитися до вибору оптимальної для заданих вихідних умов експлуатації проектованої посадки, що на теперішній час є актуальною проблемою. Розглянутий підхід показує свою ефективність з точки зору охоплення певної кількості допустимих альтернативних посадки, а не тільки одного остаточного проектного рішення.

Математичне моделювання у даному дослідженні є основою для подальшої модернізації програмного засобу «Interference Fit», що успішно використовується при автоматизованому проектуванні посадок з натягом (для зубчастих коліс на валах коробок швидкостей токарських верстатів, фіксаторів і упорів в пристосуваннях, сталевих бандажів на рознімних центрах, установлювальних штифтів у верстатних пристосуваннях, коротких втулок в маточинах зубчастих коліс тощо).

Впровадження автоматизованого проектування з'єднань з натягом із застосуванням інформаційних технологій дозволяє підвищити та прискорити продуктивність процесу автоматизації.

Література:

1. Авторське свідоцтво № 99502 від 04.09.2020 про реєстрацію авторського права на твір за темою «Проектування раціональних посадок з натягом на основі багатопараметричних математичних моделей області їх існування» на комп'ютерну програму «Interference Fit» / П.І. Літовченко, В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, Я.В. Павлов.
2. Нечипоренко, В.М. Метод аналітичного опису області існування геометричних параметрів у автоматизованому проектуванні посадок з натягом [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, А.П. Горбунов // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків, 2019. – Вип. 1. – с. 70–77. doi: 10.33405/2409-7470/2019/1/33/179734
3. Нечипоренко, В.М. Критерій вибору раціональних значень параметрів посадки з натягом при автоматизованому проектуванні [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, А.П. Горбунов, Д.А. Босик. // Збірник наукових праць НАНГУ. – Харків, 2020. – Вип. 1. – с. 13–20. doi: 10.33405/2409-7470/2020/1/35/207352

4. Нечипоренко, В.М. Ефективний метод вибору посадки з натягом на основі автоматизованої побудови комп'ютерної моделі [Текст] / В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, П.І. Літовченко, Л.А. Гребеник, Л.П. Іванова // Збірник наукових праць НАНГУ. – Харків: 2021. – Вип. 1. – с. 103–109. doi: 10.33405/2409-7470/2021/1/37/237896

УДК 62-182.7

С.О. Абрамов, к.т.н., доц.,

Я.С. Синицин, маг.,

Національна металургійна академія України

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ

Об'єкт дослідження – технологічні процеси підвищення зносостійкості поверхонь тертя.

Предмет дослідження – закономірності процесів струменеві-абразивної обробки, пароплазмового хромового покриття, алмазного вигладжування твердих покриттів.

Експлуатаційна надійність роботи насосів відцентрового типу в значній мірі залежить від стану вузлів тертя контактних поверхонь валів з гумовими радіальними манжетами. Цей ущільнений вузол складається з деталей насоса, які найбільш зношуються. Крім цього на поверхні валів, для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, наносять хромове покриття. В якості перспективного методу обробки пропонується алмазне вигладжування, тобто використання алмазного інструменту при невеликому його втисненні в поверхню оброблюваної деталі. Такий спосіб обробки хромових покриттів повинен забезпечувати результати як при вигладжуванні сталі, зменшувати напруги розтягування, шорсткість поверхні та пористість. Тому розробка комплексних технологій підвищення зносостійкості поверхонь валів авіаційних відцентрових насосів є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка комплексної технології підвищення зносостійкості поверхонь валів авіаційних відцентрових насосів за рахунок збільшення втомної міцності хромових покриттів.

Проведені раніше дослідження[1–4] показали, що обкатування хромових покриттів не знаходить широкого застосування (мала товщина і дуже велика твердість покриттів при невеликій твердості основи).

В якості перспективного методу обробки пропонується алмазне вигладжування, тобто використання алмазного інструменту при невеликому його втисненні в поверхню оброблюваної деталі. Такий спосіб обробки хромових покриттів повинен забезпечувати результати як при вигладжуванні сталі, зменшувати напруги розтягування, шорсткість поверхні та пористість.

Відцентрові насоси на сьогоднішній день є найбільш поширеним і затребуваним різновидом динамічної гідравлічної техніки, що знаходить широке застосування в найрізноманітніших сферах. До основних складових насосів відцентрового типу відносить вал, який було обрано для досліджень. Аналіз деталей з хромовим покриттям які виготовляються на заводах авіа агрегатобудування України визначив, що частіше в якості вихідного матеріалу використовують сталь Х12МФ та їх аналоги, після термічного відпалу. Тому, в якості вихідного матеріалу підкладки під покриття під час дослідження використовували сталь Х12МФ.

На рис. 1. наведено результати порівняльного аналізу схем обробки поверхні вала відцентрового насоса (сталь Х12МФ).

1	•Прокат	1	•Прокат
2	•Обробка різанням	2	•Обробка різанням
3	•Шліфування	3	•Шліфування
4	•Полірування	4	•Струменево-абразивна обробка
5	•Гальванічне нанесення хрому(VI)	5	•Пароплазмове нанесення хрому (III)
6	•Полірування	6	•Алмазне вигладжування

а

б

Рис. 1. Схема підготовки поверхні вала відцентрового насоса (сталь Х12МФ):
а – базова технологія, б – рекомендована для нанесення хромового покриття

За результатами аналізу запропоновано додатково ввести наступні технологічні операції: струменево-абразивну обробку, алмазне вигладжування поверхні вала та застосування методу пароплазмового нанесення хрому, що в свою чергу призведе до зміцнення пар тертя відцентрових насосів.

Вплив технологічних операцій підготовки підкладки [5] на якість нанесення покриття на циліндричну переривчасту поверхню вала, показав, що найбільш раціональним є струменево-абразивна метод, який підвищує адгезію системи підкладка-покриття, оптимізує шорсткість і структуру вала. Як абразивний матеріал використовували сферичні гранули [6] ударостійкого сополімер стиролу. Взаємодія гранул сополімер стиролу з поверхнею вала приводить до утворення довільного мікрорельєфу, зняття окисних плівок, що підвищує адгезію нанесеного покриття з утвореною основою. Основними параметрами, що досліджувалися є: шорсткість поверхні (Ra, опорна довжина профілю та ін.) та реєструвався профіль поверхні. Дослідження проводилися за допомогою

профілометра «Калібр» моделі 170622, вимірювання виконувалися при базовій довжині рівній 0,8мм на довжині оцінки 8-16мм в різних місцях зразка.

Аналіз експериментальних даних показав, що активація поверхні струменево-абразивним методом досить різко змінює параметри утвореного мікропрофілю, а тим самим може сприяти зменшенню повзучості і збільшення втомної міцності.

Перспективним способом, що відповідає сучасним вимогам, що дозволяє в значній мірі збільшити життєвий цикл пари тертя відцентрового насоса є пароплазмове нанесення покриттів. В якості параметрів, які характеризують процес пароплазмового нанесення покриттів, визначені час обробки, концентрація електроліту і якість підкладки поверхні під нанесення покриття (вид мікрорельєфу, шорсткість).

Хромування зразків проводилося на експериментальній установці, що містить електроліт в складі 99% CrO_3 + 1% H_2SO_4 при температурі 50–55 $^{\circ}\text{C}$, щільності струму 40–45А/дм 2 . Товщина нанесених хромових покриттів становила: 50мкм на зразках зі сталі Х12ФМ, твердістю 230НВ і 30мкм на зразках зі сталі 12ХНі твердістю 32HRC.

Результати алмазного вигладжування хромових покриттів порівнювалися з результатами отриманими після полірування, тому що цей метод оздоблювальної обробки найчастіше застосовується для хромованих деталей. Остаточна поліровка проводилася на установці пробопідготовки.

Металографічні дослідження дозволили візуально оцінити якість і стан поверхні і приповерхневого шару зразків, а також контроль дійсної товщини хромового покриття і структури сталевोї основи.

Можна також констатувати, що в разі сталевої основи з середньою твердістю вирішальним фактором є спосіб обробки покриттів, а не основи, а саме:

- коли покриття було оброблено алмазним вигладжуванням спостерігається поява стискаючих напруг як в хромовому покритті, так і в основі;
- коли покриття оброблено поліруванням спостерігається наявність напруг, що розтягують і в покритті і в основі;
- в зразках, в яких покриття не оброблялося, спостерігається поява напруг, що розтягують.

У зразках з малою товщиною покриття виявлено також вплив алмазного вигладжування на стан напруг в основі – виникають в ній стискаючі напруги. При великій товщині хромових покриттів не спостерігається такого впливу.

Отже, на підставі отриманих результатів можна констатувати, що незалежно від методу обробки основи, хромування викликає появу напруг, що розтягують у верхньому шарі елементів, а також шляхом алмазного вигладжування покриттів можна змінити цей стан напруг на стискаючий.

Оскільки хром є металом, добре працюючим в умовах тертя ковзання по сталі, то важко ще поліпшити ці трибологічні властивості трибологічними методами. в практиці такої необхідності немає, найчастіше наноситься покриття хрому такої товщини, яка є достатньою на цілий період експлуатації виробу.

Також можливо стверджувати, що алмазнее вигладжування хромових покриттів не покращує трибологічної зносостійкості на стільки, щоб можна було його вважати протизношувальною обробкою.

Література:

1. Korzynski. Nagnitane povlok chromowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. nr 124. Rzeszow. 1994. p. 1–129.
2. [Мельничук П.П.](#) Технологія машинобудування : підручник для студентів ВНЗ. /[П.П. Мельничук](#), [А.І. Боровик](#), [П.А. Лінчевський](#), [Ю.В. Петраков](#)/ В.о. [Житомир. держ. технол. ун-т.](#)– Житомир: ЖДТУ, 2005.– 882 с.
3. Едигарян А.А., Полукаров Ю.М. О возможности замены стандартных ванн хромирования на сульфатно-окселятные растворы Cr(III). Журнал прикладной химии. 2003. Т 76, вып. 2. с. 333–334.
4. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. М. Глобус. 1998. Винчек 3. С. 298.
5. Shoji Noda, Haruo Doi, Osami Kamigaito. Metal-ceramic surface composites formed by a high energy ion irradiation and their mechanical properties//Radiat. Phys. Chem. – 1987. – Vol. 30, Iss 4. – P. 253–261.
6. Shoji Noda, Haruo Doi et all. Impovement for adhesion of thin metal films on ceramics by ion bombardment and application to metal-ceramic joining//Journal of materials science letters. – 1986. – Vol. 5. – P.381–383.

УДК 621.9.02.004.6

Є.В. Корбут, к.т.н., доц.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ДИСКРЕТНИМ ПОКРИТТЯМ ГЛОБУЛЯРНОГО ТИПУ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Серед конструкційних матеріалів в багатьох галузях промисловості знайшли широке застосування волокнисті полімерні композиційні матеріали (ВПКМ).

Волокнисті полімерні композиційні матеріали мають комплекс властивостей та особливостей, які позитивно відрізняють їх від металів та їх сплавів, що відкриває широкі можливості для розробки нових конструкцій та технологій різного призначення і удосконалення існуючих конструкцій найрізноманітнішого призначення, так і для розробки нових конструкцій і технологічних процесів.

Створення волокнистих полімерних композиційних матеріалів має на меті наступні цілі: здешевлення матеріалів, одержуваних на основі комбінації тих або інших речовин з меншою вартістю, у порівнянні з металами; додання цим матеріалам бажаного комплексу властивостей; зниження питомої маси; збільшення термінів старіння і т.д. [1, 2].

Аналіз літературних джерел показав. Що одним з найбільших споживачів ВПКМ являється авіобудування [3]. На основі аналізу структури механічної обробки ВПКМ встановлено, що найбільший процент припадає на операції свердління (37%) та розрізання (25%).

Для деталей з ВПКМ якість отриманих отворів впливає на строк служби усього з'єднання, так як показники якості впливають на критерії міцності та надійності. Крім традиційних показників якості, таких як розмірна точність, похибка форми та розташування поверхні, шорсткість застосовують також показники пошкодження поверхні: розшарування, відколи кромки отворів, витягування волокон та інші [4, 5]. За даними дослідників [6] близько 60% браку при складанні літальних апаратів виникає в наслідок пошкодження поверхні.

Великий вплив на якість отворів деталей з ВПКМ має матеріал інструменту, його конструкція та геометрія, режими обробки.

За даними досліджень [7] інструментальні матеріали при свердлінні ВПКМ повинні задовольняти наступні вимоги:

- забезпечувати високий опір абразивному зношуванню контактуючих зі стружкою поверхонь леза інструменту;
- мати низький коефіцієнт тертя в парі з оброблюваним матеріалом;
- мати високу теплостійкість та теплопровідність.

Відмічається, що опір леза інструменту абразивному зношуванню є одним із важливих вимог до інструментального матеріалу , так як утворення фасок зносу на передній та задній поверхнях викликає затуплення гостроти різальних кромки і як наслідок посилення теплової та силової дії на оброблюваний матеріал, що може викликати суттєве пошкодження в композиційному матеріалі і зниження якості отворів.

Інструмент із швидкорізальної сталі для обробки отворів, особливо в ремонтних роботах на підприємствах авіаційної промисловості знаходить доволі широке застосування. Низький опір абразивному зносу, а відповідно і низька стійкість швидкорізальної сталі для певних умов виробництва компенсується великою кількістю розробок прогресивних конструкцій інструменту і способів свердління.

Для обробки ВПКМ найчастіше використовують однокарбідні тверді сплави, так як вони об'єднують в собі найкраще відношення зносостійкості і міцності. Використання двох і трьох карбідних сплавів обмежене, так як при відносно низьких температурах різання ВПКМ ці сплави не проявляють своїх переваг і показують меншу стійкість ніж однокарбідні.

В найбільшій мірі зазначеним вимогам серед інструментальних матеріалів відповідає полікристалічний алмаз. Проте його використання призводить до

ускладнення конструкції інструменту та високої його вартості для отримання заданих параметрів оброблюваної поверхні.

Одним з перспективних напрямків підвищення працездатності різального інструменту в тому числі і інструменту для обробки отворів з ВПКМ є нанесення зносостійких покриттів різними методами з використанням різних конструктивних схем.

Для підвищення зносостійкості інструмента зі швидкорізальних сталей та твердосплавного в основному використовуються покриття на основі TiC, TiN, TiCN, TiALON, AlCrN та інші. При обробці металів та сплавів такі покриття суттєво підвищують працездатність інструментів [8]. Проте, як зазначалось раніше використання таких покриттів не дає суттєвого збільшення стійкості із-за неможливості забезпечення в процесі різання малого радіуса округлення різальної кромки.

При різанні найбільший ефект з підвищення стійкості показали ультра тверді алмазні покриття за рахунок високої твердості, малого коефіцієнту тертя та високої теплопровідності. Перевага алмазних покриттів в порівнянні з полікристалічними алмазами полягає в їх здатності утворювати складну геометричну форму.

Але, незважаючи на незаперечні переваги алмазні покриття мають ряд істотних недоліків: низька міцність зчеплення з основою, висока пористість, висока енергоємність процесу, значний рівень залишкових напруг, що виникають у покритті [9].

Конкуруючим способом нанесення зносо-, коррозійностійких, абразивностійких покриттів на різальний інструмент для обробки ВПКМ може бути електроіскрове легування (ЕІЛ) [10] . ЕІЛ – технологічно простий метод нанесення, використовує широку номенклатуру матеріалів покриття, може бути ефективним в різних поєднаннях багатоопераційних технологій. В порівнянні з CVD та PVD методами нанесення метод ЕІЛ має енергозатрати на 3 порядки нижчі при вартості обладнання на порядок менший.

В роботі [11] відмічалось, що застосування композиційних електродних матеріалів для електроіскрового легування (ЕІЛ) відкриває нові можливості в технології покриттів. Багатофункціональний легуючий електрод забезпечує структуроутворюючу технологію за рахунок вибору його складових. Змінюючи склад та структуру ЕІЛ-покриття можливо досягти необхідних показників інструменту для обробки ВПКМ.

Одним із шляхів підвищення працездатності різального інструмента з покриттям для обробки композиційних матеріалів є створення покриттів дискретної структури підвищеної термомеханічної стійкості [12], що забезпечує оптимальне НДС за рахунок співвідношення геометричних параметрів структури з одного боку і пружних властивостей основи і покриття з іншого. Для різального інструменту, пропонується застосовувати захисні покриття (TiC,B2-AlN) дискретного типу глобулярної структури. Розглянуті основи теорії напружено – деформованого стану робочих поверхонь різального інструменту з нанесеним дискретним покриттям глобулярного типу за умов когезійної, адгезійної та контактної міцності за методикою, розробленою в

інституті Проблем Міцності ім. Г.С. Писаренка НАНУ під керівництвом д.т.н. проф. Ляшенка Б.А.. За даною методикою досліджено та було визначено розміри дискретних ділянок покриття (TiC,B₂-AlN), що не піддаються когезійному розтріскуванню при різній товщині покриття, та з умов адгезійної та контактної міцності визначена щільність нанесених глобул на визначені дискретні ділянки на робочих поверхнях різального інструменту за умов досягнення мінімального рівня залишкових і експлуатаційних напружень, які виключають його руйнування в процесі різання ВПКМ. Це дозволило створити інструмент зі швидкорізальної сталі із модифікованою поверхнею у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованих на них глобул, розмір яких порівняний із розміром армувальника композита (у межах 3 – 25 мкм), , що дає можливість заміни інструменту з полікристалічним алмазом на інструмент зі швидкорізальної сталі з покриттям і тим самим зменшити вартість інструменту більш ніж у 8 разів без втрати продуктивності обробки та якості обробленої поверхні деталей з ВПКМ.

Література:

1. Белов А.Ф. Материалы для авиационного приборостроения и конструкций/ под ред А.Ф. Белова// М.:Металлургия, 1982. – 399с;
2. Терещенко Ю.М. Авіаційні матеріали та їх обробка/ Ю.М. Терещенко, К.О. Животовська, М.О. Животовський, О.В. Мамлюк, І.Г. Носовський// Підручник. – К.:Вища освіта, 2003. – 303с.;
3. Авиационно-космические материалы и технологии / [В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, Н. Е. Калинина и др.] - Запорожье, изд. ОАО "Мотор Сич", 2009. - 383с.;
- 4.Криворучко Д.В., Залога В.А., Пасечник В.А., Колесник В.А., Емельяненко С.С. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор)/ монография Сумы 2013, с. 272;
5. Drilling of composite structures/ F.Lachaud, R. Piquet, F.Collombet, L.Surcin// Composite Structures. – 2001. – Vol.52. – P. 511–516;
6. Zitoun R. Study of drilling of composite material and aluminium stack/ R. Zitoun, V.Krishnaraj, F.Collombet// Composite Structures. – 2010. – Vol.92, no.5. – P.1246 – 1255;
7. Sheikh-Ahmad JY7 Machining of Polymer Composite/ Sheikh-Ahmad J.Y/. – Technology and Engineering, 2008. – 230p;
8. Vetter J., Burgmer W., Dederichs H., Perry A. The architecture and performance of compositionallygradient and multi-layer PVD coating. Material Science Forum Vols. 163 – 165 (1994) pp.527– 532;
9. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями [Текст]: монография // под ред. И.С Форстен. А.С Верещака. – М.: Машиностроение, 1993 325;
10. Корбут Е.В., Ляшенко Б.А., Подчерняева И.И., Юрченко Д.В. Перспективы электроискрового упрочнения твердосплавного режущего инструмента. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Київ, 2012, № 12, С. 67 – 80;

11. Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. Упрочняющие покрытия дискретной структуры// Технологические системы, 2001. – №4(10).–С.17–25.;
12. Солових Є.К. Науково-методологічні основи підвищення несучої здатності функціональних покриттів конструктивними і технологічними методами/ Є.К. Солових: автореф. Дис.докт.тех.наук. – К.:НТУУ «КПІ», 2013. – 36с.

УДК 621.914

С.І. Радкевич, асп.,
Л.Є. Глембоцька, к.т.н., доц.,
І.О. Гасвський, студ.,
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.,
Державний університет «Житомирська політехніка»

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОСНАЩЕННЯ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ З ЧАВУНІВ

Обробка чавунів – це одне з питань, якому приділяється багато уваги як з боку науковців, так і з боку виробників різальних інструментів. Згідно з даними Worldsteel, у січні-лютому 2021 року у світі вироблено 234,46 млн. тон чавуну, що на 3,6% більше у порівнянні з аналогічним періодом 2020 року. Чавуни мають високі ливарні та фізико-механічні властивості, особливо такі як міцність та зносостійкість в умовах тертя, здатність поглинати коливання та вібрації, які виникають в процесі механічної обробки та при експлуатації готових виробів. Вони використовуються для виготовлення станин та супортів верстатів, пресів та молотів, і іншого обладнання.

При обробці різанням заготовок з чавунів відбувається видалення неоднорідного матеріалу у вигляді краплень піску, корки та інших ливарних дефектів, які негативно впливають на зносостійкість різальних інструментів. Це особливо актуально при обробці плоских поверхонь деталей з чавунів великих розмірів, що супроводжується високими температурами та тертям в зоні різання. Як показують дослідження зарубіжних та вітчизняних науковців найкраще себе зарекомендували надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (КНБ), твердість яких поступається лише твердості алмазів. Разом з тим, вони мають високу міцність та стійкість до термічних ударів, низький коефіцієнт тертя та є інертними до заліза. Науковцями Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, зокрема провідними спеціалістами С.А. Клименко, М.Ю. Копейкіною та ін., проводились дослідження для різних видів чавунів в контактних парах з окремими надтвердими інструментальними матеріалами на основі КНБ, режимами різання, геометричними параметрами різальних елементів та схемами різання. В працях М.В. Новікова було досліджено, що

при обробці сірого чавуну інструментами оснащеними КНБ при наступних режимах різання: $v=6,66\text{--}8,33$ м/с, $S = 0,02\text{--}0,2$ мм/об та $t=0,2\text{--}1,5$ мм – шорсткість обробленої поверхні може бути досягнута в межах $Ra=0,32\div 2,5$ мкм, а стійкість інструменту – 150–360 хв. Було встановлено, що чим вища твердість чавуну та швидкість різання, тим більші переваги мають інструменти з КНБ у порівнянні з іншими інструментальними матеріалами.

Багато досліджень проводиться з метою підвищення продуктивності обробки деталей з плоскими поверхнями, в тому числі й чавунів, за рахунок, наприклад, створення багатолезових ступінчастих інструментів з ефективними схемами різання, з встановленням у корпусі торцевої фрези різальних пластини з КНБ з тангенціальним затиском з поступовим зміщенням в радіальному та осьовому напрямках. Використання подібних фрез дозволяє досягати збільшення швидкості різання у три рази, у порівнянні з застосуванням пластин з твердих сплавів, і отримувати високу чистоту поверхні (Ra до 0,1 мкм) при розподілі припуску на обробку між усіма зубами фрези та зачисною кромкою пластини. Однак досягнення таких результатів можливе за умов забезпечення жорсткості технологічної системи та застосування високоточного обладнання. За останні роки виробниками різальних інструментів було представлено багато новинок, одна з яких, розроблена та випущена компанією TaeguTec торцева фреза CHASE12MILL з використанням негативних двосторонніх пластин складної вигнутої форми, які встановлюється з нерівномірним кроком у корпус фрези з позитивним переднім кутом. Застосування такої фрези дозволяє зменшити глибину фрезерування та ударне навантаження на неї, і боротися з вібраціями, при цьому збільшуючи швидкість різання та подачу на зуб, що сприяє підвищенню продуктивності обробки. Однак при обробці плоских протяжних поверхонь деталей, ширина яких перевищує 250 мм ефективність використання таких фрез значно зменшується, так як номенклатура їх розмірів $\varnothing 40\text{--}250$ мм.

Незважаючи на всі дослідження та досягнення у виробництві торцевих фрез для обробки чавунів, особливо групи високої твердості, існує ще багато питань, що потребують вирішення. Одне з них зведення до мінімуму биття зубів, яке виникає внаслідок низької жорсткості технологічної системи, що притаманна більшості вітчизняних машинобудівних підприємств. Інше – вибірковість рекомендацій по вибору режимів різання та геометричних параметрів різальних частин інструменту оснащеного пластинами з КНБ при обробці чавунів, що призводить до непередбачуваності механізму зношування різального інструменту, та потребує висококваліфікованого персоналу в роботі з цією парой матеріалів.

В подальшому планується розширення та впорядкування інформації необхідної для обробки чавунів, конструювання торцевої фрези з застосуванням різних схем різання та способів встановлення різальних пластин з КНБ, а також нанесення захисних покриттів на різальні пластини для підвищення зносостійкості різального інструмента.

УДК 669.054.8

Д.Г. Музичка, к.т.н., доц.¹,

О.В. Чернишов, ст. викл.¹,

О.О. Чернишов, інж.²,

*Дніпровський державний технічний університет*¹

*ООО «КДК»*²

ТЕХНОЛОГІЯ ПАКЕТУВАННЯ МЕТАЛЕВОЇ СТРУЖКИ

Проблема використання металовідходів є частиною формування економічних умов створення безвідходного виробництва. Одним з важливих резервів економії металу є використання відходів металообробки (металева стружка) в якості сировини для металургійного виробництва. Крім того, стружка є цінною сировиною для порошкової металургії. При відповідній обробці стружки можна повернути у виробництво значну кількість цінних матеріалів.

Основним способом утилізації металевої стружки в даний час є металургійний переділ непідготовленою стружки, що відрізняється порівняно низькою рентабельністю. При переплавки стружки втрати на угар перевищують 15–30%, при цьому вигоряють, головним чином, залізо і легуючі елементи [1].

Основні переваги утилізації відходів механічної обробки в знежиреному і спресованому вигляді полягають в тому, що усувається угар заліза і легуючих елементів, значно знижуються витрати на транспортування відходів, оскільки їх переділ може бути здійснений безпосередньо на тому підприємстві, де вони утворюються, знижуються втрати і засміченість стружки при її транспортуванні і зберіганні. Аналіз існуючих способів і пристроїв з підготовки металевої стружки до металургійного переділу показує, що існують два методи пресування стружки це брикетування та пакетування. Дана робота присвячена розробці нової технології для підготовки стружки до пакетування. З цією метою проведені експериментальні дослідження з пакетування стружки. Такі дослідження проводилися на лабораторному пакетувальному пресі, а також на промисловому пресі БА 1330.

При пресуванні стружки вуглецевих марок сталей встановлено, що пакети розсипаються на дрібні елементи відразу ж після виштовхування їх з преса. Це пояснюється тим, що стружка вуглецевих марок сталей в процесі утворення піддається загартуванню і наклепу, що робить її твердою і крихкою. Крім того, окремі витки спіралеподібної стружки являють собою своєрідну пружину, внаслідок чого при пресуванні вона стискається, а при знятті навантаження приймає початкову форму. Отже, спіралеподібну і мілкоелементну стружку вуглецевих марок сталей пакетувати без попередньої підготовки недоцільно.

Ідея попередньої підготовки вуглецевої стружки полягає в наданні їй пластичних властивостей шляхом відпалу. Проведено експериментальні дослідження з визначення основних параметрів відпалу в газових і електричних

печах, а також процесу пакетування стружки. З метою запобігання або зменшення окислення стружки в процесі відпалу запропонований спеціальний контейнер, в якому знаходиться стружка в спресованому стані. Контейнер виготовлявся з листової сталі (рис. 1) і приєднувався до преса за допомогою доопрацьованої розвантажувальної рамки преса БА 1330 (рис. 2).

Суть запропонованої технології полягає в тому, що стружка пресується і потім поршнем другої ступені преса розвантажується в контейнер. Запресована в контейнер стружка завантажувалася в піч і нагрівалася до температури 650°C ; 750°C ; 850°C . Після відпалу стружка виштовхується з контейнера в камеру преса де і проводиться її остаточне пресування.

При великих обсягах переробки стружки, де необхідно мати два преса, для попереднього пресування необхідно використовувати прес малої потужності, а для остаточного пресування після відпалу використовувати більш потужний прес.



Рис. 1. Контейнер

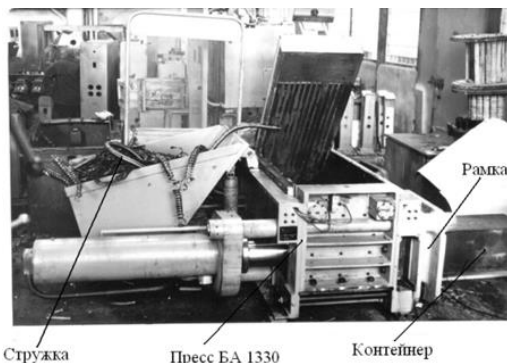


Рис. 2. Прес БА 1330 з контейнером

Література:

1. Кипарисов С.С., Проблемы получения порошков и изделий из них с использованием в качестве сырья стружковых отходов / С.С. Кипарисов, О.В. Падалко// Порошковая металлургия.— 1979.— №9.— с.56–65.

УДК 621.7.044

В.В. Третяк, к.т.н., доц.¹,
Д.Г. Музичка, к.т.н., доц.²,
О.В. Чернишов, ст. викл.²,

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»¹,
Дніпровський державний технічний університет²*

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ІМПУЛЬСНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Запропонований пристрій належить до техніки обробки металів тиском і може бути використаний у машинобудуванні для виготовлення деталей з товстостістового матеріалу.

Для виконання бездефектної деталі необхідно досить точно розрахувати і забезпечити необхідний тиск і час його дії на заготовку. Відомі пристрої, в яких притиснення заготовки здійснюється силами додаткового імпульсного джерела енергії, наприклад, за допомогою вибуху додаткового заряду вибухової речовини, встановленої над притискним кільцем, і висаджуваного з деякою затримкою за часом вибуху основного заряду [1].

Для виконання бездефектної деталі необхідно досить точно розрахувати і забезпечити необхідний тиск і час його дії на заготовку. Для досягнення необхідного тиску на фланці заготовки можна використовувати систему зарядів, які включаються одночасно. Однак застосування системи зарядів вимагає спеціальної апаратури для синхронізації вибуху. Крім того, для кожної ваги основного заряду, габаритів і товщини деталі необхідно знати час затримки. Наявність декількох зарядів, їх установка і ізоляція збільшують витрати і підвищують трудомісткість процесу. Разом з тим система з декількох зарядів ненадійна і часто приводить до браку виробів, також така система не дозволяє механізувати технологічний процес штампування. Найбільш близькими за технічною суттю є пристрої, в яких для притиснення заготовки використовується енергія основного імпульсного джерела, що виділяється в закритій камері і направлена убік, протилежний деформації заготовки [2,3].

Запропонований пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії складається з матриці, джерела імпульсної енергії, передатного середовища (технічної води), фіксуючих елементів і додатково містить матрицю, розміщену симетрично першій таким чином, що вони утворюють спільну порожнину для розміщення передатного середовища та джерела імпульсного навантаження, а між матрицями розташовані притискні кільця з кільцевою прокладкою між ними, матриці з'єднані між собою гвинтами з шайбами та гайками.

Оскільки заготовка навантажується в основному тільки ударною хвилею, яка з'являється в технічній воді, недоліками даного пристрою є малий коефіцієнт корисної дії. Оскільки відсутнє дно матриць, не можливе отримання

деталей складної і точної форми. Якщо деталь має високу деформацію, її треба виконувати за декілька переходів з необхідним нагрівом заготовки і її термообробкою.

Оскільки для передаючого середовища використовується технічна вода, а її особливості такі, що вода при нормальних умовах випарюється при температурі більше як 100 градусів, нагрів заготовки в пристрої не можливий.

В розробленого пристрою поставлена задача вдосконалення пристрою для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, в якому шляхом модифікації конструкції пристрою забезпечується збільшення коефіцієнта корисної дії, виникає необхідність підвищити точність і складність деталі.

Пристрій дозволяє отримувати складну форму і необхідну точність заготовки з можливістю її термічної обробки у внутрішньому об'ємі пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії додатково містить складну матрицю, джерело імпульсної енергії, передатне середовище з піском.

На рис 1. зображена схема пристрою для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії.

На залізобетону підлогу 1 встановлюються симетрично-розташовані корпус нижньої 2 матриці, вставка 3, верхня матриця 7 з притискними кільцями 4 і 6 та кільцева камера 5 між ними, які з'єднані між собою гвинтами 8 з шайбами 9 та гайками 10.

Заготовки 11 і 17 притиснені між корпусом нижньої матриці 2 і верхньою матрицею 7, притискними кільцями 4 і 6, та кільцевою камерою 5.

Джерело імпульсного навантаження 16, передатне середовище 14, яке являє собою пісок, розміщено в порожнині між заготівками 11 і 17, притисненими корпусом нижньої матриці 2 і верхньої матриці 7 до притискних кілець 4, 6 та кільцевій камери 5.

Пристрій працює таким чином. Деталь отримується в два переходи на одному і тому ж пристрої. Перший перехід виконується в верхній частині пристрою, другий в нижній.

На залізобетону підлогу 1 устанавлюють корпус нижньої матриці 2, вставку нижньої матриці 3. На корпус нижньої матриці 2 встановлюють заготовку 17, притискні кільця 4, 6 і кільцеву камеру 5.

по вставці матриці 3 значно зменшується. Після закінчення процесу деформування пристрій розбирається.

Отримана на першому переході деталь 12 використовується як заготовка 17 для другого переходу. Далі процес повторюється.

Література:

1. Піхтовников Р.В. Перспективи розвитку обробки металів вибухом. – В кн.: Нове в технології штампувального виробництва. Київ, 1961, с. 12–16).
2. Гринченко А. М., Дорофеев В. Г. Применение энергии взрыва для прижатия фланца заготовки. – В кн.: Импульсная обработка металлов давлением. Харьков, 1975, с. 5–7.
3. Пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, патент на корисну модель №100458, опублікований МПК B21D 26/06 (2006.01), B21D 26/02 (2011.01) опублікований 27.07.2015, Бюл.№ 14.

УДК УДК 621.9.02

В.М. Волкогон, д.т.н., проф. ¹,
С.К. Аврамчук, к.т.н., с.н.с. ¹,
Ю.О. Федоран, к.т.н., с.н.с. ¹,
А.В. Кравчук, к.т.н., с.н.с. ¹,
Т.В. Павличук, м.н.с. ¹,
В.С. Антонюк, д.т.н., проф. ²,
К.І. Аврамчук, маг. ²,

*Інститут проблем матеріалознавства імені І.М.Францевича
Національної академії наук України ¹,
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" ²*

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ НА ОСНОВІ ВІОРТЦИТНОГО НІТРИДУ БОРУ З АЛМАЗНОЮ СКЛАДОВОЮ КОМПОЗИТУ

Сучасні надтверді інструментальні матеріали визначають розвиток нових і вдосконалення відомих методів формування робочих поверхонь виробів і надають можливість продуктивної механічної обробки найбільш високоміцних і важкооброблюваних конструкційних матеріалів, питомо частка яких в машинобудуванні постійно зростає. При цьому великої уваги заслуговують процеси фінішної механічної обробки, які характеризуються не тільки продуктивністю процесу, але й необхідністю формування в поверхневих шарах виробів стану, що забезпечує їх максимальну працездатність [1].

Висока твердість і міцність надтвердих матеріалів на основі віортцитного нітриду бору свідчать про можливість їх ефективного застосування на практиці

– при механічній обробці широкого спектру сталей і сплавів, деталі з яких працюють у високонавантажених парах тертя, при цьому високі фізико-механічні властивості інструментальних композитів розширюють можливості створення нових ефективних і високопродуктивних технологій механічної обробки та нових напрямків застосування [2].

Метою даної роботи є вивчення впливу вмісту алмазної складової в композиційному надтвердому матеріалі на основі вюртцитного нітриду бору на стійкість інструменту.

Отримані після спікання полікристали композиту з вюртцитного нітриду бору з алмазною складовою обробляли по контуру на круглошліфувальному верстаті мод. 3K12 в спеціальному пристосуванні, після чого закріплювали в оправці токарного правого прохідного різця Γ -подібним притискачем під кутом, що забезпечувало геометрію її різальної частини $\alpha_{\text{повзд.}} = 6^\circ$, $\gamma_{\text{повзд.}} = 6^\circ$.

В обробленому вигляді пластини були круглої форми діаметром $D = 7$ мм, товщиною $S = 3,18$ мм зі зміцнюючою фаскою $0,2 \times 20^\circ$ на різальній кромці, позначення пластини RNMN0703M0.

Дослідження різальних властивостей пластин здійснювали на токарному універсальному верстаті мод. 16K20. Оброблюваним матеріалом при випробуваннях була сталь ШХ15 ДСТУ 4738:2007 загартована до 61...63 HRC у вигляді циліндричної заготовки діаметром 88...95 мм, довжиною 300 мм. При випробуваннях стійкості полікристалічних надтвердих матеріалів до ударних навантажень в процесі обробки використовували заготовки, на бічній поверхні яких виконано повздовжній паз шириною 4 мм.

Випробування проводили з режимами – швидкість різання $V = 75$ м/хв та 150 м/хв., глибина різання $t = 0,2$ мм; 0,5 мм і подача $S = 0,12$ мм/об; 0,15 мм/об. Критерієм стійкості інструменту при точінні загартованої сталі прийнято величину зносу різальної пластини по задній поверхні $h_3 = 0,4$ мм.

Для випробувань використовували експериментальні зразки композиційних полікристалічних надтвердих матеріалів на основі системи «вюртцитний нітрид бору-алмаз», які вміщували 10 мас % алмазної складової трьох типів:

- «Тип 1» – композиційний матеріал на основі BN_v до складу якого входили алмази статичного синтезу 0,1 / 0 мкм, спечений при $T = 1600^\circ\text{C}$;
- «Тип 2» – композиційний матеріал такого ж складу, спечений при $T = 2000^\circ\text{C}$;
- «Тип 3» – Композиційний матеріал на основі вюртцитного нітриду бору та алмазів статичного синтезу 10/7 мкм, спечених при $T = 1800^\circ\text{C}$.

Відповідно до збільшення температурних параметрів отримання композитів фазовий склад матричного матеріалу на основі нітриду бору змінювався в напрямку зростання вмісту сфалеритного нітриду бору.

Якщо при $T = 1600^\circ\text{C}$ вмісту сфалеритного нітриду бору складав 60 % об. то при $T = 1800^\circ\text{C}$ вюртцитний нітрид бору повністю перетворювався в $\text{BN}_{\text{сф}}$. Подальше підвищення температури спікання до $T = 2000^\circ\text{C}$ сприяє збиральній рекристалізації сфалеритного нітриду бору, при цьому в системі з алмазом має місце взаємодія компонентів суміші – «нітриду бору-алмазу».

Вивчення характеру і особливостей процесу зношування та стійкості різального інструменту із композиту систем «BN_в – алмаз» здійснювали при повздовжньому точінні зразків із загартованої сталі ШХ15 ДСТУ 4738:2007 твердістю HRC 61...63.

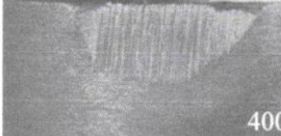
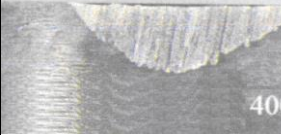
Встановлено, що точіння загартованих сталей супроводжується зносом різця як по задній, так і по передній поверхні, знос по задній поверхні характеризується наявністю пілкоподібних борозен, напрям яких співпадає з напрямом вектора швидкості різання, що характерно для зношування різального інструменту із композита–10 [3].

Величина зносу визначалась як середнє за результатами п'яти випробувань кожної пластини.

В таблиці показано оптичне зображення характеру зношення різальної кромки пластин різного складу з композиту «BN_в – алмаз» в режимі безперервного гладкого точіння і при точінні з ударом сталі ШХ15 ДСТУ 4738:2007 (HRC 61...63).

Таблиця 1.

Знос різальної кромки пластин основи вюртцитного нітриду бору з алмазною складовою

Тип композиту	Склад композиту: «BN _в + алмаз»	Температура спікання	Точіння з ударом	Гладке точіння
			V = 75 м/хв, t = 0,2 мм	V = 150 м/хв, t = 0,5 мм
1	BN _в +0,1/0 мкм	T = 1600°C		
2	BN _в +0,1/0 мкм	T = 2000°C		
3	BN _в +10/7 мкм	T = 1800°C.		

В таблиці приведено характер зносу різальних пластин композитів трьох типів: на основі BN_в з алмазами статичного синтезу 0,1 / 0 мкм («Тип 1», «Тип 2»), отримані при різних температурах спікання, а також композит на основі вюртцитного нітриду бору та алмазів статичного синтезу 10/7 мкм («Тип 3»).

На рисунку показано знос різальних пластин з композиту «BN_в – алмаз» при безперервному гладкому точінні (а) від режимів різання V = 150 м/хв, t = 0,5 мм і точінні з ударом (б) при V = 75 м/хв, t = 0,2 мм

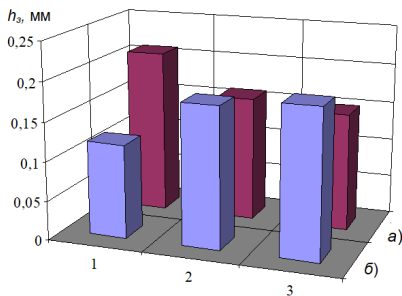


Рис. 1. Інтенсивність зносу різальних пластин з композиту «BN₆ – алмаз» при безперервному гладкому точінні (а) і при точінні з ударом (б); 1 – композит «Тун 1»; 2 – «Тун 2»; 3 – «Тун 3».

Проведені експериментальні дослідження різального інструмента на основі композиційного матеріалу системи «вюрцитний нітрид бору – алмаз» показали, що ефективність застосування композиту визначається складом та умовами його отримання при високих тисках та температурах.

Висновки В результаті проведених експериментів встановлено, що присутність в композиті алмазної складової впливає на величину контактної температури в зоні різання обумовленою сукупністю теплових імпульсів на вершинах контактуючих мікронерівностей, сприяючи розсіюванню тепла і обумовлює вищу стійкість інструмента при гладкому точінні.

При обробці загартованої сталі з ударними навантаженнями найкращі показники працездатності показали зразки, отримані при $T = 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, які містили алмази статичного синтезу $0,1/0\text{ мкм}$, пояснюється визначальним фактором фазового стану матричної складової композиту.

При обробці загартованої сталі ШХ15 ДСТУ 4738:2007 (HRC 61...63) в режимі безперервного точіння встановлено, що кращі результати стійкості показали зразки які включали алмази статичного синтезу $10/7\text{ мкм}$ та були отримані при $T = 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, в діапазоні температур, які сприяють протіканню збиральної рекристалізації матеріалу, так як матрична складова повністю представлена сфалеритним нітридом бору.

Література:

1. Barandych, K.S., Vysloukh, S.P. & Antonyuk, V.S. Ensuring Fatigue Life of Parts During Finish Turning with Cubic Boron Nitride Tools. *J. Superhard Mater.* 40, 206–215 (2018). <https://doi.org/10.3103/S1063457618030085>
2. Федоран Ю.А., Волкогон В.М., Антонюк В.С., Аврамчук С.К. Влияние структурного состояния ПСТМ на основе вюрцитного нитрида бора на их эффективность при тонком точении закаленных сталей // Наноинженерия. – М.: Машиностроение. – 2014. – №5. – с.28–34. <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1286926>
3. Высокопроизводительная чистовая обработка деталей из сталей высокой твердости / С. А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина, С. Ан. Клименко, Ю.М. Мельничук, А.А.Чумак; Под ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

УДК 621.914.1

О.В. Сладковський, д.т.н., проф.¹,

В.М. Рубан, к.т.н.²,

*Сілезький технічний університет, м. Катовіце, Польща¹,
Національна металургійна академія України²*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОГО ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР

Працездатність колісних пар машин рейкового транспорту відновлюється періодичними ремонтами. Найбільш поширеним способом відновлення геометричних параметрів профілю робочої поверхні коліс є фрезерування на колесофрезерних верстатах КЖ20 за допомогою спеціальних фасонних фрез.

Накопичення внутрішньої енергії обробленою поверхнею в процесі різання за рахунок внутрішніх напружень і подрібнення кристалів призводить до зміни механічних властивостей, сутність якого полягає в підвищенні опірності деформації, в зниженні пластичності, в збільшенні твердості, тобто в зміцненні поверхневого шару оброблюваного металу.

В даний час твердосплавний інструмент широко застосовується в сучасному машинобудуванні [1] для обробки різних поверхонь. Недоліки твердих сплавів, як їх підвищена крихкість, відносно невисокі значення межі міцності при вигині і ударної в'язкості значно знижують ефективність використання твердосплавних різальних елементів при переривчастому різанні, що працюють в найбільш важких умовах, пов'язаних з наявністю ударних навантажень, при частих циклічних змінах температурного поля при робочих і холостих ходах в процесі стружкоутворення і інших явищ.

Стійкість ріжучих елементів при цьому є невисокою, приблизно в два рази нижче, ніж при неперервному різанні. Специфіка обробки поверхонь при переривчастому різанні вимагає наявності більш досконалого твердосплавного інструменту з високими показниками як по твердості, так і по ударної в'язкості. В даний час не існує ефективних методів зміцнення твердосплавного інструменту, призначеного для роботи з ударними навантаженнями.

В роботі [2] автори наводять аналіз застосування твердосплавних ріжучих елементів. Можливість використання різців з пластинами Т15К6 при переривчастому ударному різанні сильно обмежена через те, що при швидкості вище 100 м/хв при наявності шару підвищеної твердості утворюється катастрофічний знос інструменту, як по передній, так і по задній поверхні, а при більш низькій швидкості (менше 50 м/хв) значно збільшується час обробки і також спостерігається підвищений і катастрофічний знос твердосплавного інструменту. Застосування сплаву Т15К6 є можливим тільки при зниженні подачі до 0,015 – 0,02 мм/об, глибині різання до 3 мм, наявності на інструменті позитивного кута $\lambda = 5...10^\circ$, зменшенні головного заднього кута до $6...8^\circ$, при використанні тільки ріжучих елементів з кутом в плані більшим, ніж 90° . Зниження ударного навантаження на вершині ріжучого елемента, з зміною

геометрії не дозволяє використовувати середні та великі подачі, знижує жорсткість при різанні і разом з цим не гарантує відколу різальної кромки. Використання інструменту з механічним кріпленням пластин з кобальтовим напиленням сплаву Т15К6 себе не виправдало через те, що механічне кріплення існуючих конструкцій не витримує значних знакозмінних навантажень, це призводить до розфіксації ріжучої пластини з подальшим її зломом. Застосування інструменту з напаяними пластинами Т5К10 показало, що число відколів ріжучої кромки скоротилося на 30% при однаковій величині зворотної подачі і деяке зменшення швидкості різання в порівнянні зі сплавом Т15К6. Однак більш низька твердість Т5К10 в порівнянні з Т15К6 обумовлює і більш інтенсивний знос задньої і передньої поверхні інструменту. Дане явище змушує виробляти додаткові переточки інструменту, що веде до збільшення часу обробки, підвищеної витрати інструменту і, як наслідок, високої собівартості кінцевого продукту. Використання сплаву Т14К8 виявилось не виправдано. Даний сплав з практичної точки зору не є оптимальне співвідношення твердості і ударної в'язкості. При не значному збільшенні ударної в'язкості в порівнянні з твердим сплавом Т15К6 (на $0,02 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$), його твердість менше останнього на істотну величину (на 1,5 HRA). Використання сплаву ТТ7К12 для обробки в умовах удару показало, що його застосування обмежене високою вартістю, це веде до різкого подорожчання самого ріжучого інструменту. Встановлено, що тверді сплави груп ВТК і ВТТК в умовах переривчастого різання з ударним навантаженням виявилися мало придатні. При застосуванні твердих сплавів вольфрамокобальтової групи (ВК), які звичайно застосовуються для обробки чавуну і неметалів, з підвищеним вмістом кобальту, наприклад, ВК6 і ВК8, які по ударної в'язкості, межі міцності при вигині і стиску перевершують сплави Т15К6, Т5К10, Т14К8 виявилось можливим здійснити обробку. Однак присутні негативне явище у вигляді підвищеного зносу твердосплавного інструменту по задній поверхні.

Аналіз відомих способів відновлення якості виробів показав, що для відновлення робочої поверхні профілю колісних пар машин рейкового транспорту, зокрема локомотивів, переважним є спосіб фрезерування, оскільки він дозволяє здійснювати обробку без викочування колісних пар, що значно прискорює процес відновлення рухомого складу.

Незважаючи на вище перераховані недоліки, в якості циліндричних ріжучих елементів для спеціальних фрез до верстата КЖ20 використовують пластини RNUX 1212 MO TN марки сплавів КС-25, Т14К8 [3]. Це обумовлено геометричною формою, специфікою застосування та технологією виробництва.

В результаті аналізу роботи існуючих спеціальних фасонних фрез було встановлено, що при обробці зміцненої, загартованої ділянки профілю робочої поверхні колеса різальний елемент випробовує великі навантаження. Різальна кромка змінюється, внаслідок чого, в різцетримачах, перемичка (стінка) між отворами для циліндричних різальних елементів, що мають різну орієнтацію, – рветься. Це призводить до подальшого вивертання циліндричних різальних елементів, при цьому деформується різцетримач, змінюється геометрія лінії різання, знижуючи клас шорсткості обробленої поверхні.

Серед дефектів можна виділити дві основні групи. Першу групу складають фактори, пов'язані з виготовленням і підготовкою (настройкою) інструмента до роботи. Другу групу складають фактори, безпосередньо пов'язані з процесом фрезерування.

Найбільш суттєвими факторами першої групи є: якість формування лінійних та кутових параметрів гнізд для різальних елементів в різцетримачах (ножах) фасонних фрез, шорсткість поверхонь, точність складання, точність та жорсткість технологічної системи, якість інструментального матеріалу. Їх вплив може бути знижений підвищенням якості виробництва на всіх етапах підготовки інструменту.

Друга група дефектів визначається режимами в процесі роботи. Їх аналіз являє собою основу вибору оптимальних режимних параметрів, що задовольняють вимоги точності та якості фрезерування, продуктивності та надійності інструменту.

До факторів, що найбільше впливають на фрезу, належать сили опору різанню. Температурний фактор та відцентрові сили мають другорядне значення, оскільки фрези працюють з невеликими швидкостями різання (до 80 м/хв.).

Одним з показників ефективності переривчастого різання [4] може служити відношення δ довжини різання при переривчастою обробці до довжини різання при звичайній кінематики процесу обробки для відповідних значеннях періодів стійкості T і T_{np} інструменту; відповідно з цим

$$\delta = \frac{v_{np} \cdot T_{np}}{v \cdot T} \quad (1)$$

де v_{np} ; v – швидкість різання переривчастого і звичайного різання.

Застосування способу, без викочування колісних пар, вимагає створення нових технологій проектування і виготовлення нових конструкцій спеціальних збірних фасонних фрез [5] з індивідуальною геометрією робочої частини змінних різальних елементів.

Ефективними методами підвищення експлуатаційних властивостей колісних пар є збільшення параметра якості робочої поверхні профілю, за рахунок зміни розмірів і збільшення кількості циліндричних різучих елементів фасонної фрези, що дозволить зменшити навантаження, що припадають на один циліндричний різальний елемент, а це, в свою чергу, дозволить збільшити термін служби збірних фасонних фрез в цілому.

Література:

1. Мазур, Н.П. Основы теории резания материалов: учебник [для высш. учебн. заведений] / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с
2. Шелег, В. К. Исследования влияния интенсивности ударной нагрузки при прерывистом резании на стойкость твердосплавного инструмента, упрочненного аэродинамическим звуковым методом / В. К. Шелег, А. Н.

Жигалов // Машиностроение: республиканский межведомственный сборник научных трудов / Белорусский национальный технический университет; редкол.: В. К. Шелег (гл. ред.). – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 32. – С. 64–71.

3. Рубан В.М. Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01/ Владислав Миколайович Рубан; [наук. керівник О. В. Сладковський]; ДВНЗ «Державний університет «Житомирська політехніка»». – Житомир, 2021. – 196 с.

4. Ярославцев В. М. Оценка эффективности прерывистого резания на основе использования закономерностей изменения теплонапряженности процесса / В. М. Ярославцев, Н. Г. Назаров // Электронный научно-технический журнал НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ / Научное издание МГТУ, 2013. – №10. – С. 35–42.

5. Збірна фасонна фреза для ремонтного відновлення профілю поверхні кочення колеса рухомого складу машин рейкового транспорту: пат. № 119973 Україна: МПК В23 С5/12, В23 С5/14. № а 201507376 заявл. 22.07.2015; опубл. 25.10.2017. Бюл. №20. 5 с.

УДК 621.89(07)

Ю.О. Харламов, д.т.н., проф.,

Л.Г. Полонский, д.т.н., проф.¹,

Н.О. Балицкая, к.т.н., доц.¹,

Государственный университет «Житомирская политехника»¹

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

В машиностроении все более широкое применение получают фрикционные методы обработки. К ним относят процессы обработки, в которых определяющую роль играют явления, протекающие в зоне фрикционного контакта инструмента с деталью или соединяемых деталей при сварке. Ряд способов обработки ППД при соответствующем контроле явлений, протекающих в поверхностном слое детали, могут быть отнесены к поверхностной фрикционной обработке. Силовое взаимодействие инструмента с деталью происходит на пятнах фактического контакта, малые размеры которых являются причиной высоких фактических давлений. В процессе обработки в зоне фрикционного контакта находится активный поверхностный слой толщиной от долей до десятков микрон, а нижележащий подповерхностный слой достигает толщины до нескольких миллиметров. Активный поверхностный слой испытывает пластическую деформацию и участвует в физико-химических трибореакциях [1]. Поведение активного

поверхностного слоя в процессе трения может происходить в условиях и закономерностях, свойственных интенсивным пластическим деформациям. Поверхностный слой при обработке ППД формируется под воздействием многократно повторяющихся в очаге деформирования и прилегающих зонах упругих и пластических деформаций, трения, тепловых процессов и сопутствующими изменениями микро- и макроструктуры, микрогеометрии и пр.

Зависимость процессов обработки ППД от большого количества параметров обуславливает целесообразность применения системного анализа для их изучения и дальнейшего совершенствования. Модель трибологической системы (ТС) операции обработки ППД характеризуют: состав ТС (обрабатываемые детали и инструменты и их свойства); внутренние связи между обрабатываемыми деталями и инструментами; внешние связи ТС (вход, выход); функциональные характеристики ТС (соотношение вход-выход).

Решение вопросов дальнейшего развития способов ППД невозможно без детального анализа процессов и явлений, протекающих на фрикционном контакте инструмента с деталью. Фрикционный контакт имеет дискретный характер, параметры которого оцениваются площадями контакта: номинальной, контурной, фактической (площадок контакта микронеровностей) и физической (площадок контакта субмикрощероховатостей). Вступившие в контакт микровыступы испытывают сложное напряженно-деформированное состояние под действием нормальной нагрузки и движущихся сил, затрачиваемых на преодоление сил трения [1].

В процессе трения основная часть работы внешних сил расходуется на пластическую деформацию поверхностного слоя (ПС) и его фрикционный нагрев. Формирование напряженно-деформированного состояния ПС при трении имеет свои особенности и максимальные напряжения возникают в микрообъемах ПС на пятнах фактического контакта. Для исследования закономерностей деформирования поверхностных слоев при трении привлекают представления о структурных уровнях пластической деформации: микроскопический (атомный и дислокационный); мезоскопический, с размерами 0,1 ... 3 мкм; структурный; макроуровень. В поверхностном слое детали имеется три характерные зоны: верхний слой (адсорбированных молекул жидкостей и газов); промежуточный слой ("третье тело"); подповерхностная зона, в которой имеют место градиенты деформации и субзеренная структура, зарождаются несплошности и трещины как результат накопления элементов трибодеструкции, обусловленной влиянием циклов переменных напряжений.

Перспективным направлением повышения прочности и износостойкости поверхностных слоев материалов деталей является разработка и совершенствование операций обработки ППД, обеспечивающих получение нанокристаллических структур методами интенсивной пластической деформацией сдвига. Особый интерес вызывает развитие технологии наноструктурного выглаживания –сглаживания микронеровностей и формирования нанокристаллической структуры в поверхностном слое

матеріала інтенсивної пластическої деформацією [2]. Трудности его развития связаны с контролем рационального температурно-скоростного режима пластическої деформації и повышении производительности.

Література:

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр «Наука и техника», 1995. – 778 с.
2. Кузнецов В.П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей: Дисс. док. техн. наук. – Курган, 2013. – 341 с.

УДК 621.7.047.7

С.О. Абрамов, к.т.н., доц.,
В.М. Анісімов, д.т.н., доц.,
В.С. Гришин, к.т.н., доц.,
Г.М. Довганюк, асп.,

Національна металургійна академія України

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОКЛАПАНІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Прецизійні деталі електроклапанів, виготовлені з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів повинні задовольняти вимогам експлуатації. У магніто-м'яких сплавів спеціального призначення на залізній, залізо-нікелієвій та залізо-кобальтовій основах високі магнітні характеристики в сполученні з комплексом других властивостей, визначених особливостями їх призначення [1]. Технологічне забезпечення виготовлення таких деталей з оптимальним сполученням основних фізико-механічних, магніто-фізичних, антикорозійних властивостей пов'язано з суттєвими складностями обумовленими комплексним сполученням характеристик, які часто бувають взаємовиключними.

Наявні дані дозволяють зробити висновок, що підвищення експлуатаційних характеристик деталей електроклапанів, рушійних установок орбітальних супутників, а отже, їх життєвого циклу, можливо добитися застосуванням різних технологій їх поверхневої обробки, таких як нанесення спеціальних покриттів, модифікація робочих поверхонь деталей, а також підбором методів обробки для зменшення залишкових напруг. Специфіка оброблюваних деталей (корозійна стійкість, магнітні властивості) потребує розробки спеціальних методів покриття, одним з таких є хромові покриття [2].

Мета досліджень – провести експериментальні дослідження по підвищенню експлуатаційної надійності деталей електроклапанів з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів шляхом створення технологічних методів, які формують

фізико-механічні, магніто-фізичні та корозійностійкі характеристики поверхневого шару деталей і вузлів.

Одним із самих розповсюджених та затребуваних процесів, що дозволяють вирішувати проблеми захисту поверхневого шару виробів є хромування. Дослідження властивостей та структури електролітичного хромового покриття магніто-м'яких сплавів в традиційних ваннах хромування на основі шестивалентного хрому показали достатньо високу корозійну стійкість і добрі електромагнітні якості. Але відомо, що процес хромування на основі хромової кислоти, відноситься до вищого класу екологічної небезпеки, так як, в якості основних компонентів використовують високотоксичні сполуки шестивалентного хрому. Тому були проведені дослідження альтернативної, безпечної технології хромування на основі солей трьох валентного хрому, зокрема оксалатно-сульфатним електролітом. Якість покриття Cr (III) товщиною 15–20 мкм значно поступається стандартному покриттю Cr (VI) через велику кількість глобулярних утворень, поверхні покриттів мають грубий вигляд через неоднорідність осаду, що говорить про недосконалість існуючих технологій. У зв'язку з цим представляє інтерес дифузійне хромування, яке надає виробам опір ерозії, втоми, корозії, високі електромагнітні властивості [3]. Крім цього сприяє захисту навколишнього середовища (відсутність зливів шкідливих електролітів), а також здешевлює виробництво виробів. Для досягнення поставленої мети було досліджено пароплазмовий метод осадження хрому на поверхні магніто-м'яких залізо-хромових сплавів [5].

Експлуатаційні характеристики хромових покриттів, міцність покриття та його зчеплення з підкладкою у значній мірі залежать від підготовки поверхонь (мікрорельєфу, залишкових напружень, тощо) перед осадженням хрому. Були проаналізовані різні способи попередньої обробки поверхонь [4]. При підготовці поверхні обирали методи, коли підкладка знаходиться в активному стані, як можливо більш тривалий час. В такій якості розроблена технологія пароплазмової активації поверхонь прецизійних магніто-м'яких сплавів перед покриттям. Такий спосіб дозволяє усунути дефектний поверхневий шар, поверхневих плівок та сторонніх включень, а також ретельне очищення поверхні від усіх видів забруднень та забезпечує одержання міцно зчеплених покриттів.

Експериментальні дослідження проводились на дослідному устаткуванні кафедри технології машинобудування Національної металургійної академії України, схема якої представлена на рисунку 1.

В якості блока живлення використовувалось джерело повторного електропостачання ІВЕ-245-09 з без трансформаторним мережевим входом, працюючому на частоті перетворення 45–55 кГц. Основні технічні дані блока живлення: потужність 600–6000 Вт; напруга 100–1350 В; струм 0,5–7,0 А.

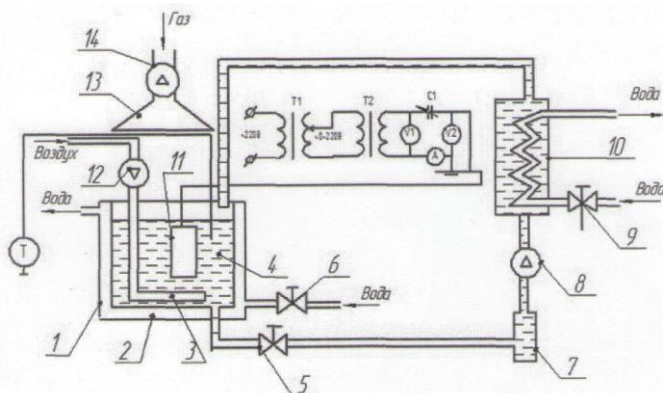


Рис. 1. Функціональна схема устаткування: 1 – гальванічна ванна; 2 – рубашка водяного охолодження; 3 – барботер; 4 – електроліт; 5, 6, 9 – запірні арматура; 7 – фільтр; 8 – водяний насос; 10 – бак з теплообмінником; 11 – деталь; 12 – повітряний компресор; 13 – витяжний зонт; 14 – витяжний вентилятор

Зразки для досліджень виготовлялись у вигляді сталевих дисків з отвором під кріплення зі сплаву 16Х-ВН. Зважаючи на то, що механічні впливи на ці сплави які приводять навіть до незначних пластичних деформацій, або залишковим напругам та погіршують властивості сплаву, треба завершену операцію по підготовці поверхні під покриття проводити безконтактними методами.

Застосування метода паро плазмової підготовки поверхонь зразків з магніто-м'яких сплавів дозволило знизити початкову шорсткість (R_a 0,8–1,0) до потрібної (R_a 0,1–0,2), при цьому можлива обробка деталей складної форми. Значення шорсткості визначалися за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа «Micron-alpha» виробництва ТОВ «Мікрон система» Україна, який дозволяє реєструвати топографію поверхні шляхом обробки послідовності інтерференційних даних (картин), реєстрованих цифровою камерою при зміщенні опорного (еталонного) дзеркала.

Осадження Cr на підготовлену поверхню зразка з магніто-м'якого сплаву 16Х-ВН проводилось оксалатно-сульфатним електролітом, який був нагрітий до температури 75°C , в інтервалі напруги 40–250В. Найбільш оптимальний та стабільний процес паро плазмового нанесення покриття з хрому на магніто-м'які сплави проходить в інтервалі напруг 180–200В. Металографічні дослідження виявили, що отримані покриття мають щільну структуру та неперервні по всій поверхні.

Дослідження на знос проводилися на машині тертя «Micron-tribo», призначеної для проведення досліджень на тертя та знос по схемі «шар-диск».

Висновки. Проведені експериментальні дослідження по підвищенню експлуатаційної надійності деталей електроклапанів рушійних установок орбітальних супутників з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів дозволили

розробити комплексну технологію нанесення захисного покриття з використанням пароплазменної технології, яка крім цього дозволяє очищувати та полірувати поверхні без внесення залишкових напруг.

Розроблений технологічний процес дозволяє в умовах екологічної безпеки отримати характеристики покриття, які задовольняють вимогам експлуатаційної надійності прецезійних деталей електродклапанів рушійних установок орбітальних супутників.

Література:

1. Шишков М.М. Марочник сталей і сплавів: Довідник. Вид 3-є, доповнене. Донецьк, 2000.– 456с.
2. Данилов Р.И., Проценко В.С. Электроосаждения хрома электролитів на основі сполук Cr (III): Огляд // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii* 2020, №. 2., pp. 4–29.
3. [Лайнер В.И.](#) Защитные покрытия металлов. Металлургия, М., 1974.– 559 с.
4. Velychko O.G., Liu T., Abramov S.O., Marchuk I.V., Gryshin V.S. Technological features of the preparation of cluster thermal barrier coatings on copper surfaces of the converter lance tips // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, Dniepr. Ukrainian State University of Chemical Technology 2020, No. 3, pp. 53–58.
5. Погребняк А.Д., Каверина А.Ш., Калышканов М.К. Электролитно плазменная технология для нанесения покрытий обработки металлов и сплавов // *Физикохимия поверхности и защита метериалов*. 2014. Т.50, №1. С. 72–88.

УДК 621.941-229.3:531.133

А.И. Лещенко, к. т.н., доц.,

Приазовский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ САЕ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Представить современную аппаратуру, которая бы работала без пружин достаточно сложно. Способность разного типа пружин воспринимать любые виды и степени нагрузок обуславливает их популярность и востребованность во всех видах промышленности и сельского хозяйства. Приоритетность аккумулирующих и релейных схем мехатроники в современном мире, как в бытовых механизмах, так и в производственном оборудовании не снижает уровень применения в конструкциях разнообразных пружин сжатия, растяжения, кручения, тарельчатых или торсионных.

Разработаны и остаются актуальными компьютеризированные теоретические расчеты геометрических параметров пружин определенного

типа, соответствующие заданным нагрузкам и условиям работы. Результатом расчета будут варианты конструкций пружин, из которых необходимо выбрать оптимальную, по одному или нескольким критериям. В справочной литературе представлены классы пружин, которые характеризует режим нагружения и выносливости, а также их разделение на разряды по диапазонам прилагаемых сил, марках применяемых пружинных сталей, допустимым напряжениям. Пружины классифицируются в зависимости от характера и направления прилагаемой нагрузки: пружины растяжения или пружины сжатия, пружины кручения, которые подвергаются нагрузке моментом от приложения пары сил или пружины, работающие под действием изгибающих нагрузок перпендикулярных ее оси. Для пружин каждой группы разработаны теоретически обоснованные и проверенные экспериментально методы расчета на допустимое растяжение или сжатие, предельный изгиб, усталость при циклических нагрузках и прогнозируемую долговечность. Вместе с тем существуют множество механизмов для нормальной работы, которым необходимы типы нагружения пружин характерные для разных классификационных признаков. В этом случае простая суперпозиция различных методов расчета параметров пружин, для конкретных случаев не дает правильного результата, а в ряде случаев приводит к противоречивым выводам. Поэтому в качестве альтернативы аналитическим методам расчета пружин в последнее время все шире применяется метод конечных элементов САЕ систем с 3D представлением исходной информации.

На кафедре технологии машиностроения нашего университета разработана и изготовлена установка для вибрационной обработки мелких деталей гранулированным абразивом (рис. 1). Установка состоит из рабочей камеры 1 с рамкой 2, установленной на пружинах 3. Базой для конструкции является жесткая рама 4 с приводным двигателем 5 и вертикальными стойками 6. В нижней части установки размещена дебалансная система 7 – вибратор, который через понижающие обороты конические передачи и кулачковый механизм создает в плоскости YZ осциллирующие движения «резания» абразивом.

Профиль кулачка в дебалансной блоке задает режим осевых вибраций $B(\omega)$ в функции частоты вращения ω распределительного вала. Для обработки каждого типа деталей подбираются свои режимы дебаланса.

При разработке конструкции вибрационной установки для промышленного применения возникла задача расчета пружин на усталостную прочность, при их цилиндрическом знакопеременном нагружении с различным коэффициентом асимметрии.

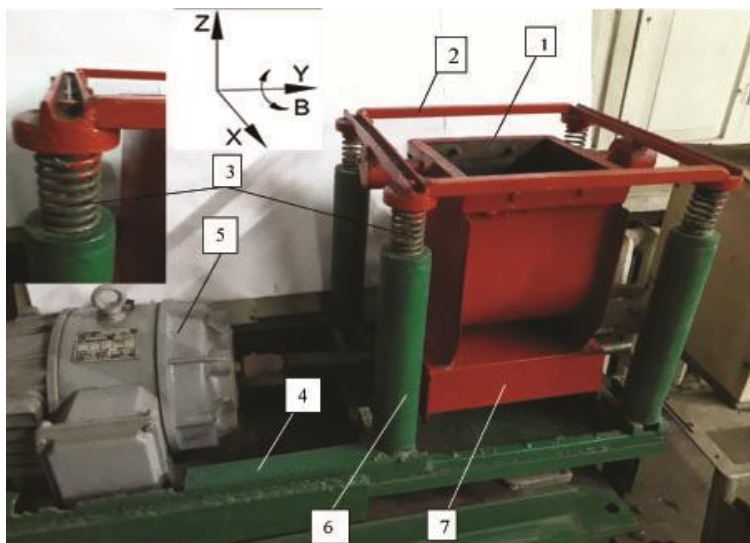


Рис. 1. Установка для вибрационной обработки мелких деталей
гранулированным абразивом

Следует отметить, что наибольшее число колебаний, выдерживаемых пружиной до разрушения, зависит не только от максимального напряжения, но и от изменения векторного значения амплитуды самих колебаний. Стандартом установлено определение усталостной прочности пружин путем испытаний, при котором разрушение происходит при заданном количестве циклов нагружения – разгружения. Однако создание стенда для этой цели и собственно время испытаний удорожает стоимость установки и длительность производственного цикла. Поэтому испытание на усталость пружинной подвески рабочей камеры установки было проведено путем 3D моделирования, с последующим анализом методом конечных элементов CAE системой (рис. 2). Конструктивно модель состоит из рамы 1, установленной на четырех демфирующих стойках 2 и пружинах, концы которых заправлены в обоймы 3, предотвращающие опасность потери ее продольной устойчивости, т. е. выпучивания в сторону (рис. 2, а). На осях 4 рамы установлена плита 5 общим весом P , имитирующая собственно рабочую камеру плюс абразив с помещенными в нем деталями. Во времени, симулирующие циклические нагрузки на пружины в вертикальной плоскости задаются весом плиты 5 и уравнением профиля кулачка. Колебательное движение камеры с абразивом учитывается крутящим моментом $B_{кр}(\omega)$. Таким образом, от нагрузок, приложенных к модели витки пружин испытывают деформации двух видов: растяжения–сжатия и изгиба – кручения. Креплению модели соответствует ограничение в виде жесткого защемления нижней обоймы опорной стойки, условие контакта входящих в узел деталей – «связанное».

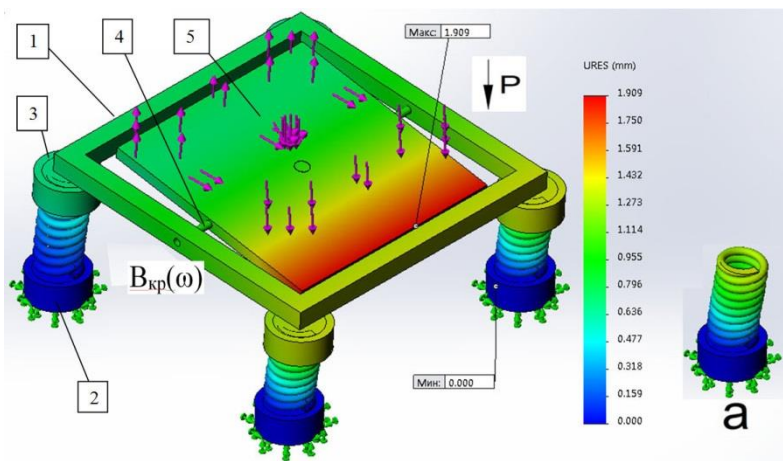


Рис. 2. 3D-модель для анализа установки вибрационной обработки методом МКЭ

Определение потери устойчивости пружины с применением МКЭ производится в пределах ее упругой деформации и ставит целью вычисление критической силы, при которой пружина примет форму неустойчивого состояния – например, изгиба оси.

В результате выполнения прочностного расчёта в статике, при максимальных $P=950$ Н и $B_{кр}=500$ Н·м, была получена эпюра деформаций и напряжений в конструкции с запасом прочности 1.95. Далее выполнялся расчет на потерю устойчивости сжатых элементов – пружин, (материал сталь 50ХФА, допускаемое касательное напряжение $[\tau]=550$ МПа), по результатам которого максимальный коэффициент критической нагрузки (BLF) не превысил значение 56.12. Это означает, что приложенные нагрузки меньше критических, поэтому потеря устойчивости не ожидается.

Выводы. В настоящее время накоплен значительный объем теоретического материала по оценке устойчивости, начиная с задачи Эйлера о критической нагрузке сжатого стержня. Существующие табличные методы норм устойчивости для пружин сжатия, эмпирические зависимости, которые в основном базируются на соотношении высоты ненагруженной пружины к ее среднему диаметру, при различных вариантах закрепления ее опорных витков.

Созданная вибрационная установка работает на одном из малых предприятий около двух лет и сохраняет работоспособность без замены комплектующих, что подтверждает правильность установленных условий моделирования и эффективности МКЭ при анализе технических конструкций.

Работа предполагает продолжение исследований в этом направлении. В настоящее время строится модель, включающая влияние контактных напряжений при возможном соударении витков при сжатии, определяется состояние пружины, когда соприкосновения витков повышает ее устойчивость, но действующие напряжения остаются ниже предельного уровня.

УДК 621.924.93

М.В.Пікула, ст.. викл.,

Національний університет водного господарства та природокористування

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВІДЦЕНТРОВО-ПЛАНЕТАРНІЙ ОБРОБЦІ

У різних галузях машинобудування є значний обсяг ручних і напівмеханічних операцій фінішної обробки фасонних деталей. Відставання в технології фінішної обробки таких деталей створює проблему підвищення якості продукції машинобудування, знижує конкурентоспроможність виробів. Тому актуальним є потреба проведення дослідних і конструкторсько-технологічних розробок, спрямованих на створення нових високоефективних технологічних процесів обробно-зачищувальної обробки в умовах масового і серійного виробництва.

Широка номенклатура деталей складної конфігурації часто вимагають оздоблювально-зачищувальної обробки деталей. Одним з методів, що забезпечують ефективне шліфування дрібних та середніх деталей складної форми, є обробка в робочих камерах, які здійснюють планетарний рух – відцентрова обробка. Рух завантаження у робочих камерах цих установок реалізовує швидкість відносних переміщень до 2,5 м/с і тиск робочих тіл на поверхню заготовки до 0,3 МПа, що забезпечує високу продуктивність обробки.

Технологічні можливості обробки у вільних абразивних середовищах, ущільнених відцентровими силами, охоплюють широкий діапазон операцій – від чорнових до полірування. Оптимізація технологічних режимів і вдосконалення обладнання для відцентрової обробки дозволяє значно розширити технологічні можливості оздоблювально-зачищувальної обробки. Завдяки техніко-економічним перевагам обробка деталей ущільненим потоком вільного абразиву займає важливе місце серед прогресивних методів безрозмірною обробки і заслуговує подальшого вдосконалення.

Для об'ємної оздоблювально-зачищувальної обробки використовується широка гамма робочих тіл: бій шліфувальних кругів, формовані гранули, природні абразивні матеріали, металеві, фарфорові та скляні робочі тіла тощо. Різні характеристики робочих тіл з перерахованих матеріалів забезпечують формування мікронерівностей різного характеру, зміцнення поверхонь, видалення задирок і інших операцій відповідно до технологічних завдань.

Ефективність робочих тіл оцінюють за різними параметрами, зокрема:

- проникною здатністю робочого тіла, яка характеризується можливістю формування однорідної шорсткості на поверхні деталі;
- обробними властивостями – здатністю при заданих режимах обробки видаляти з поверхні заготовки шар матеріалу чи руйнувати задирки певної товщини;

- стійкістю робочого тіла до зношення, що визначає збереження проникної здатності та обробних властивостей протягом заданого часу.

Застосування різних способів відцентрової обробки дозволяє формувати різальний контур інструменту без використання зв'язки і забезпечувати переміщення ущільненого інерційними силами реологічного інструменту щодо оброблюваної поверхні із заданою швидкістю. Регулюючи величину контактного тиску і швидкість відносного переміщення поверхонь деталей і інструменту, можна керувати формуванням якісних характеристик поверхневого шару широкого кола деталей різної форми.

Для досягнення поставленої мети запропоновано спосіб об'ємної відцентрової обробки, при якому камери з масою завантаження здійснює планетарний рух, причому камери встановлено на сателітах планетарного механізму з можливостями кутової осциляції. Поєднання планетарного руху камер з їх коливанням надає масі завантаження складної траєкторії, що інтенсифікує процес обробки.

Формування властивостей поверхневого шару матеріалу зразків в процесі відцентрово-планетарній обробці деталей абразивними робочими тілами досліджувалося на зразках зі сталі 45, які пройшли подвійну термічну обробку – гартування і високе відпускання (HRC 25...28). У якості робочих тіл використовувалися формований абразив ПТ 15×15 та природний мінерал «Байкаліт».

Встановлено, що мікротвердість поверхонь зразків при обробці на експериментальній установці спочатку дещо зростає порівняно з вихідною, а потім стабілізується. Це пояснюється як збільшенням динамічного навантаження робочих тіл, так і більшим моментом опору динамічній дії елементарних шарів завантаження - зі збільшенням частоти обертання камери зростає і видалення матеріалу з поверхні. Таким чином, частка енергії на пластичне деформування, зменшується, а на диспергування матеріалу – зростає.

Важлива характеристика якості поверхні – це наявність у поверхневому шарі залишкових напруг. При обробці абразивними тілами залишкові напруги істотно не змінюються, а при використанні металевих робочих тіл у поверхневих шарах виникають залишкові напруги стискання, які на певній глибині зрівноважуються залишковими напругами розтягу.

Таким чином, при відцентровій обробці поверхневому шарі металу утворюються сприятливі залишкові напруги та відбувається деяке збільшення мікротвердості, що може служити основою для застосування розглянутої технології на фінішних стадіях технологічного процесу.

1. Патент SU1731605A1 МПК B24B31/104. Устройство для центробежной обработки деталей / Пикула Н.В., Мороз В. М. SU 1 731 605 A1. Заявл. 16.04.1990. Опубл. [07.05.1992](#) Бюл. №17

УДК 621.9.06

В.Р. Кобельник, к.т.н., доц.,

Р.Я. Лещук, к.т.н., доц.,

М.Р. Лещук, студ.,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОТОЧУВАННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЙНИХ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

Секційні гнучкі гвинтові конвеєри (ГГК) знайшли широке використання у різних галузях народного господарства при виконанні завантажувально-розвантажувальних робіт. Секційні ГГК мають ряд переваг перед суцільними конвеєрами, зокрема більшу довговічність робочих органів та можливість забезпечення складнішої геометрії траси транспортування [1]. Як показали експериментальні дослідження, при роботі на криволінійних ділянках магістралі доцільно використовувати секції, що мають еліпсоподібний (бочкоподібний) профіль, з метою недопущення пошкодження внутрішньої поверхні гнучкого кожуха у якому працює конвеєр [1,2]. Відповідно гвинтову спіраль необхідно проточувати (профілювати) по зовнішньому діаметрі для надання відповідного профілю. Таку технологічну операцію можна виконувати двома способами [4,5]:

- проточувати навиту на необхідний крок гвинтову спіраль, що відповідає довжині секції;
- проточувати щільно навиту гвинтову спіраль, а після обробки розтягувати на відповідний крок.

Для дослідження силових параметрів проточування щільно навитих гвинтових спіралей запропоновано спеціальну оправу для профілювання гвинтових заготовок, яка забезпечувала базування гвинтової спіралі з кроком що дорівнював товщині стрічки по внутрішньому діаметрі [3].

Оправа (рис.1) складається з конуса Морзе 1, більший діаметр якого переходить в циліндр 2, в середині якого виконаний глухий отвір 3. В цей отвір 3 по посадці ковзання входить втулка 4, зовнішню циліндричну поверхню якої виконана конічної форми. На цю поверхню встановлювали гвинтову тарілчасту пружину 5 конічною внутрішньою поверхнею, а на зовнішню циліндричну встановлювали внутрішнім діаметром гвинтова заготовка 6. Ця умова забезпечує більшу силу затиску і гарантує відсутність зазору між гвинтовою заготовкою 6 та тарілчастою пружиною 5. Для забезпечення надійного з'єднання розглядуваних деталей напрями їх гвинтових ліній є протилежними.

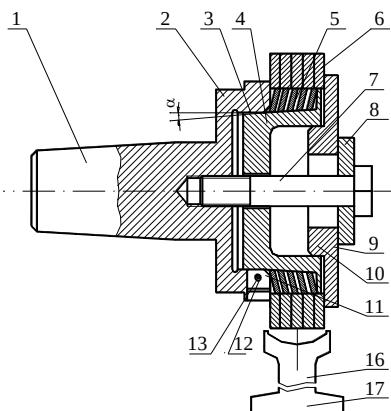


Рис. 1. Оправа для профілювання гвинтових заготовок та процес проточування на верстаті

В торцевій частині глухого отвору 3 виконана різь в яку закручується гвинт 7 з головкою під ключ. Головка гвинта 7 контактує з розрізною шайбою 8, яка має паз більшого діаметра гвинта 7 для вільного його знімання або встановлення на тіло гвинта. Розрізна шайба 8 контактує з притискним диском 9, який притискує в осьовому напрямку гвинтову заготовку 6. Для центрування притискного диска 9 по втулці 4 на ньому виконано циліндричний виступ 10, для входу в отвір втулки 4. Лівий кінець пружини 5 вставляється в осьовий паз оправки 11 отвором 12 на штифт 13 з можливістю осьового переміщення.

З метою щільного прилягання гвинтової заготовки 6 в процесі профілювання з переднім і заднім виступами на торцевій поверхні циліндра 2 і торцевої поверхні втулки 9 виконано відповідно по одному гвинтовому витку t позиції 15. Крім цього, для якісного базування та профілювання заготовка 6 попередньо розточується по внутрішньому діаметру. З зовнішньою поверхнею гвинтової заготовки 6 взаємодіє радіальний фасонний різець 16, встановлений на поперечному супорті 17 верстата.

Оброблювальну спіраль попередньо розточують за внутрішнім діаметром і базують на гвинтову тарілчасту спіраль. Радіус профілю заготовки вибирається згідно заданих конструктивних параметрів.

Дослідження процесу профілювання здійснювали на токарному верстаті для навитих заготовок із параметрами: матеріал – сталь 3, сталь 08кп; зовнішні діаметри – 75, 100 мм; товщина витка по зовнішньому ребру – 3–5 мм, кількість витків – 3–5. Зусилля замірювали методом тензометрування. Давачі наклеювали на різець зверху й знизу за півмостовою схемою. За допомогою самописця Н-338-ІП та підсилювача Топаз-4-01 здійснювали записи зусиль проточування. Тарування давачів проводили за допомогою важелів у статичному положенні.

Результати експериментальних досліджень проточування представлені на рисунках 2, 3.

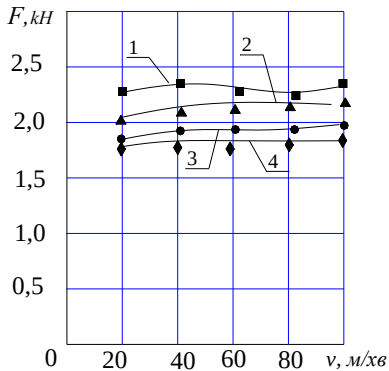


Рис. 2. Залежність зусилля різання від швидкості різання при:

- 1 – $s = 0,075$ мм/об, Ст.3,
- 2 – $s = 0,075$ мм/об, 08кп,
- 3 – $s = 0,05$ мм/об, Ст.3,
- 4 – $s = 0,05$ мм/об, 08кп

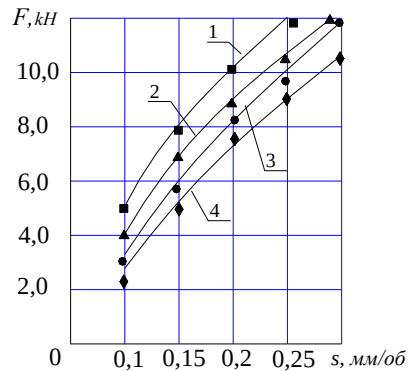


Рис. 3. Залежність зусилля різання від подачі при:

- 1 – $v = 25$ м/хв, Ст.3,
- 2 – $v = 25$ м/хв, 08кп,
- 3 – $v = 15$ м/хв, Ст.3,
- 4 – $v = 15$ м/хв, 08кп.

Експериментальні дослідження свідчать, що швидкість різання повинна мати певні значення, інакше виникають значні вібрації в процесі різання. Діапазон значень швидкості різання визначали дослідним шляхом, але верхня межа не повинна перевищувати 80 м/хв.

Одержані графічні залежності дозволили встановити закономірності зміни силових параметрів профілювання – в діапазоні швидкостей різання 12–35 м/хв зусилля збільшуються інтенсивно, а в діапазоні 40–80 м/хв спостерігається незначне зменшення сили різання, а із збільшенням швидкості різання після 100 м/хв, коли наріст на різці зменшується, сили різання знову зростають. Із збільшенням подачі та ширини різання – підвищуються.

Розроблене, реалізоване й використане устаткування для профілювання та проточування гвинтових заготовок дозволило одержати гвинтові заготовки заданих конструктивних параметрів підвищеної точності.

Література:

1. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження: монографія / І.Б. Гевко, Р.Я. Лещук, В.З. Гудь, О.Р.Дмитрів, Т. С. Дубиняк, Т.Д. Навроцька, О.А. Круглик. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2019. – 208 с.
2. Гевко Б.М. До питання профілювання секційних робочих органів гвинтових подаючих механізмів / Б.М.Гевко, Р.Я. Лещук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). Луцький ДТУ, №12. – Луцьк, 2003. – С. 32 – 39.

3. Пат. 40988 А, Україна, МКИ В23В13/00 Оправа з гвинтовою затискною пружиною. М.І. Пилипець, Р.Я. Лешук, В.З. Гудь, І.Б. Гевко, І.С. Генік (Україна). – №2000127432; Заяв. 22.12.2000; Опубл. 15.08.2001, Бюл. №7, ч.ІІ. – С.1.50

4. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / [Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, І. Б. Гевко та ін.]. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367 с.

5. Гевко І.БМ. Технологічні особливості профілювання гвинтових заготовок / І.Б.Гевко, Р.Я. Лешук, В.З.Гудь // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцький ДТУ, №9. – Луцьк, 2001. – С. 72 – 76.

О.А. Громовий, к.т.н, доц.,

В.М. Бондарчук, ст. викл.,

Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ВЕРСТАТА ПО ПАРАМЕТРАМ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ОБРОБЛЕНИХ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

В умовах виробництва значна частина плоских поверхонь корпусів механізмів, приладів, апаратів, а також рам, станін оброблюються торцевим фрезеруванням. При цьому широко використовуються сучасні процеси високошвидкісного різання, нові комбіновані схеми обробки, агрегатно-модульні конструкції різального інструменту тощо.

В роботах вітчизняних та закордонних авторів встановлено, що існує можливість діагностики верстатів по параметрах нерівностей оброблених поверхонь. Доведено, що інформаційні параметри профілограм і круглограм розкривають вплив елементів технологічної системи на якість обробленої поверхні.

При спробі ряду авторів апроксимувати профілограми і круглограми кореляційними функціями встановлено, що діагностику елементів технологічної системи доцільно вирішувати не лише на основі статистичних підходів, а із врахуванням стохастичних явищ. Окрім того, недостатньо дослідженими є такі підходи із врахуванням процесів високошвидкісної обробки, різання зі зняттям великих припусків, нових комбінованих схем обробки і т. ін. Тому тема даної роботи є актуальною.

З огляду на вище наведене, метою роботи було встановлення раціональних математичних залежностей, за якими існує можливість відокремлення діагностичних ознак похибок фрезерного верстата та торцевої фрези, подальше вивчення схем діагностування верстатів по параметрах нерівностей оброблених поверхонь.

В процесі обробки різальні ножі торцевої фрези перетинають площину, утворену віссю обертання і вектором швидкості подачі з періодом , де – кількість ножів торцевої фрези, – період обертання торцевої фрези. В процесі різання похибки торцевої фрези, які представлені авторами ґратчастою функцією , в сумі із відносними коливаннями торцевої фрези і деталі (шпиндельної головки та стола), формують гребінчасту оброблену плоску поверхню.

ґратчаста функція $q[n]$ описує дефекти ножів торцевої фрези або похибки їх встановлення відносно площини, перпендикулярної осі обертання при різанні. Авторами визначено, що зношування i -го різального ножа визначається формулою:

$$q[n] = q_0 d[n - i] \quad (1)$$

де q_0 – величина похибки встановлення різального ножа, а $d[n - i]$ – зміщена на i дискретна одинична ґратка.

ґратчасту функцію $q[n]$ (1) представлено у вигляді амплітудно–імпульсної модуляції:

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \phi(t) \otimes \{ [z(nT_z) + q(nT_z)] \delta(t - nT_z) \} \quad (2)$$

де $\delta(t)$ – дельта–функція Дірака; $\otimes$ – символ операції згортки; $\phi(t)$ – функція, яка визначає зміну положення леза різального ножа в процесі обробки.

Застосування перетворення Фур'є до обох частин рівняння (2) у формі оператора дає можливість одержати:

$$Y(f) = \Phi(f) \mathfrak{Z} \left\{ [z(t) + q(t)] \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_0) \right\} \quad (3)$$

де $\Phi(f) = \mathfrak{Z} \{ \phi(t) / T_z \}$ – функціонал, що встановлює зв'язок між положенням краю леза, частотами обертання ножів торцевої фрези та величинами, що визначають нерівність сформованої поверхні; $q(t)$ – безперервний аналог ґратчастої функції $q[n]$.

Введемо в розгляд спектр коливань $z(f) = \mathfrak{Z} \{ z(t) \}$ і спектр похибок інструмента $Q(f) = \mathfrak{Z} \{ q(t) \}$.

При використанні введених характеристик авторами була отримана залежність:

$$Y(f) = \Phi(f) \left[\sum_{k=-\infty}^{+\infty} (f - k f_z) + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} Q(f - k f_z) \right] \quad (4)$$

де $f_z = 1/T_z$ – частота обертання ножів торцевої фрези.

Аналіз отриманої формули (4) спектра профілограми, показує, що вона складається із двох компонентів: перший відображає похибки роботи верстата, другий – похибки функціонування інструмента. Спектр похибок верстата в профілограмі нерівностей обробленої поверхні при торцевому фрезеруванні утворюється циклічним накладенням спектра відносних коливань $z(f)$ із кроком по частоті, який дорівнює частоті обертання ножів фрези.

Профілограми обробленої поверхні деталей авторами запропоновано піддати спектральному аналізу. Це дає можливість за допомогою гребінчастого фільтра $\Gamma(f)$ виділити складову спектра $Y_q(f)$, що містить спектральні ознаки похибок інструмента. Після цього з повного спектра $Y(f)$ профілограми необхідно виключити спектр $Y_q(f)$ і отримати складову спектра $Y_z(f)$, що містить спектральні ознаки похибок верстата.

Таким чином, авторами запропонована раціональна схема діагностування верстата по інформаційним параметрам оброблених поверхонь при торцевому фрезеруванні, що дозволяє розділити діагностичні ознаки похибок верстата та інструмента і розширяє можливості діагностування верстатів по параметрах нерівностей оброблених плоских поверхонь деталей.

В подальших дослідженнях планується розглянути питання, пов'язані із врахуванням в запропонованій схемі особливостей високошвидкісної обробки, умов різання зі зняттям великих припусків, тощо.

УДК 621.9.01:004.358

Н.О. Балицька, к.т.н., доц.,

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.,

М.М. Плиса, асп.,

В.В. Отаманський, асистент.

Державний університет «Житомирська політехніка»

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ В ПРОГРАМІ DEFORM 3D

Моделювання процесів механічної обробки можна виконувати за допомогою спеціалізованих програм, що оперують методом скінченних елементів (МСЕ). На даний знайшли широке застосування такі програми, як Abaqus, AdvantEdge, Ansys, Deform тощо [1, 2].

Метою дослідження було моделювання процесу торцевого фрезерування в Deform-3D та порівняння його результатів з результатами проведених

експериментальних досліджень [3]. Умови експерименту: косокутне фрезерування сірого чавуну СЧ-21, швидкість різання $v=2,5$ м/с, подача $S_z=0,5$ мм/зуб, глибина різання $t=0,12...0,1$ мм, інструмент – однозуба торцева фреза діаметром 250 мм, інструментальний матеріал – гексаніт-Р, (таблиця 1). Геометрія різальних пластинок: плоска передня поверхня, передній кут $\gamma=-10^\circ$, кут нахилу різальної кромки $\lambda=-45^\circ$, задній кут у напрямку вектору швидкості різання $\alpha_v=12^\circ$.

Таблиця 1

№ з/п	Подача на зуб S_z , мм/зуб	Глибина різання t , мм	Значення складових сили різання, Н		
			P_x	P_y	P_z
1	0,5	0,1	90	176	142
2		0,12	112	196	170

Отримані результати моделювання складових сили різання P_y , P_z , P_x наведені на рисунку 1.

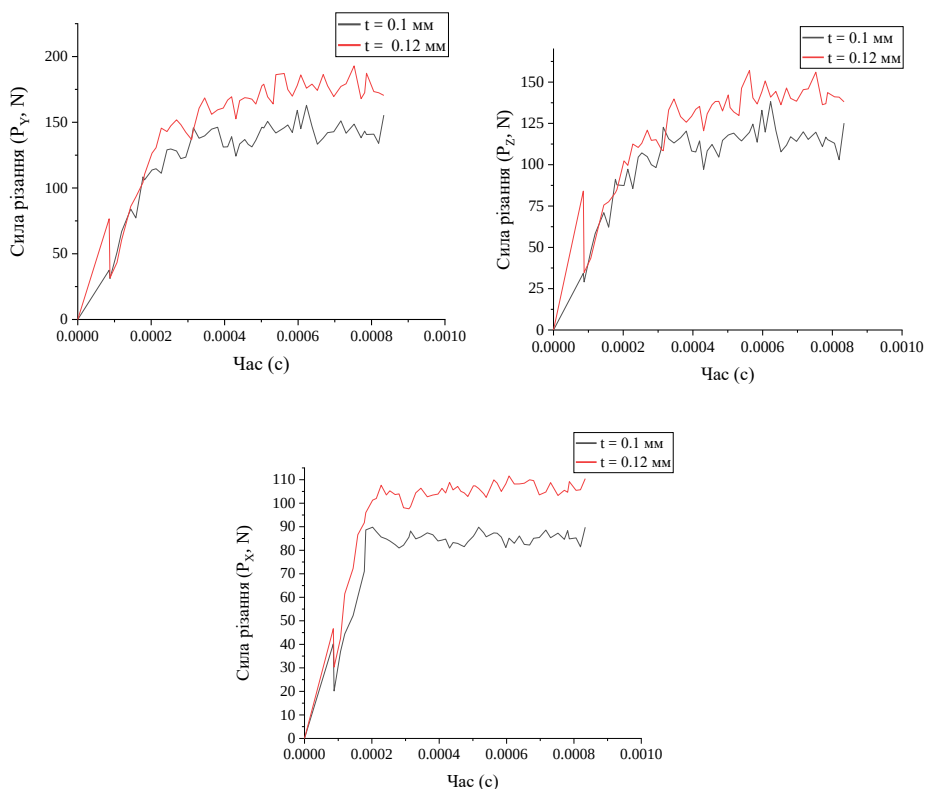


Рис. 1. Результати моделювання складових сили різання P_y , P_z , P_x

Висновок

В результаті виконаного порівняльного розрахунку з отриманими результатами експериментальних досліджень обробки СЧ-21 однозубою торцевою фрезою діаметром 250 мм, похибка моделювання не перевищує 9%, що підтверджує адекватність створеної скінчено-елементної моделі, яка залежить від великої кількості параметрів, які потрібно враховувати на етапі створення та налаштування.

Література:

1. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012 – 496 с.
2. Columbus, O.H., “DeformTM - 3D Machining (Turning) Lab”, Scientific Forming Technologies Corporation.
3. Виговський Г. М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Житомирський інженерно-технологічний ін-т. - Житомир, 2000. - 178арк. - Бібліогр.: арк. 153-160.

УДК 538.975:621.9.02

В.А. Рудніцький, к.ф.-м.н., доц.,
Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМОВОГО МЕТОДА ПРИ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ НА РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТАХ

Для створення найбільш ефективного різального інструмента часто виникає необхідність використовувати матеріали, які мали б взаємовиключні властивості. Наприклад, для надання потрібної форми ріжучій поверхні матеріал має легко піддаватись механічній обробці і в той же час чинити опір абразивному, корозійно-окислювальному і дифузійному видам зносу як при кімнатній, так і при підвищеній температурах. Нанесення покриття на інструментальний матеріал дозволяє створити на його поверхні необхідний комплекс властивостей із збереження вихідних властивостей у об'ємі інструментального матеріалу. Тому на практиці розроблено багато методів одержання покриттів на робочих поверхнях ріжучих інструментів.

Існують методи фізичного осадження покриттів, які у світовій практиці отримали назву PVD (Physical vapor deposition). Процеси фізичного осадження покриттів зазвичай поєднують вакуумне випаровування металу (використовуються випарники основи хімічної сполуки покриття), його

часткову чи повну іонізацію, подачу реакційного газу, плазмохімічні реакції, конденсацію покриття на робочих поверхнях ріжучого інструмента.

Найбільше поширення серед методів PVD отримав метод конденсації покриттів із плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням поверхонь інструмента (метод КІБ), розроблений Харківським фізико-технічним інститутом АН УРСР [1].

Розповсюдженою установкою, яка використовувала метод КІБ, став «Булат». З початку 70-х років минулого століття вакуумно-дугові випарники були основою великої кількості інших установок, і метод КІБ зазнав значних змін у теоретичному плані [2]. У наш час на пострадянському просторі серійний випуск колишніх вакуумно-дугових установок припинений. Установки для конкретних цілей випускаються деякими підприємствами по окремим замовленням із урахуванням сучасних вимог, але на базі колишніх випарників [3].

До вакуумно-плазмових близькими є плазмові методи напилення, які тільки обмежено використовують при виробництві ріжучих інструментів. Обмеженість викликана наявністю захисного середовища при використанні плазмових методів, що призводить до зниження якості покриття для криволінійних поверхонь або складної форми ріжучої частини, слабкої адгезії з інструментальним матеріалом і звуження діапазонів регулювання властивостей покриття.

Наші дослідження мали мету отримання покриттів для різального інструмента, які б не поступались покриттям отриманим методом КІБ, із використанням дешевшого обладнання, яке не потребує розхідних матеріалів та дорогого обслуговування як вакуумне, в тому числі спрощених негерметичних камер або безкамерного осадження. Останнє дозволяє проводити автоматизацію процесу загальнодоступним обладнанням.

У наших дослідженнях доведено, що високочастотна плазма ємнісного розряду при атмосферному тиску може концентруватись на поверхні, де синтезується покриття, з додаткового факельного розряду [4]. Підвищення температури плазми, зумовлене її концентрацією в приелектродній плямі факела, призводить до умов бомбардування іонами поверхні інструмента подібно до тих, що створюються при методі КІБ. Це дає можливість отримати достатню адгезію та низькі значення залишкових напруг. Залишкові напруги визначались методом вимірювання прогину тонкої підкладки по формулі Стоуні [5] та складали не більше 0,5 ГПа. Виявлено, що для зниження стискаючих напруг у покритті та збільшення втомної міцності виробів із покриттями нітриду титану можна застосовувати багаточарові структури TiN-Ti. Це досягається регулюванням швидкості подачі азоту. При застосуванні прошарку титану в 30 % спостерігалось зменшення залишкових напруг в 2 рази. Крім того, вже в перших експериментах спостерігалось, що регулювання електричного потенціалу інструмента, який використовувався в якості підкладки, дає змогу змінювати залишкові напруги та, як наслідок, адгезію плівки.

Виявлений ефект нанесення покриття точковим об'єктом, яким є приелектродна пляма додаткового факельного розряду, зводить технологію осадження до друку плівки. Це на практиці може давати переваги при нанесенні покриття на складні поверхні або пришвидшенні виготовлення виробу, створенням плівки тільки в необхідних місцях, а також зменшує ризик перегріву інструмента, який виготовляється.

Таким чином вбачається, що новий метод осадження покриттів, маючи більшість переваг, які мають PVD методи над іншими методами (наприклад, хіміко-термічні методи [6]), буде доцільним для використання на практиці і тому потребує наукових досліджень як теоретичного вивчення розряду, так і технологічного плану.

Література:

1. «Булат» - дитя «Термояда» / В.Т.Толок // ФІП. – 2004. – Т. 1. – № 3–4. – С. 361–382.
2. Лисенков А.А. Вакуумные дуговые источники плазмы / А.А. Лисенков, Н.З. Ветров – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2000. – 208 с.
3. Андреев А.А. Вакуумно-дуговые покрытия. / А.А. Андреев, Л.П. Саблев, С.Н. Григорьев. – Харьков, ННЦ ХФТИ, 2010. – 318 с.
4. High-frequency plasma at atmospheric pressure as a means of depositions of thin films / P.P. Melnychuk, V.A.Rudnitskyi // Технічна інженерія. – 2019. – № 2(84).
5. Кемпбелл Д.С. Механические свойства тонких пленок / В кн.: Технология тонких пленок. Т. 2. — М.: Советское радио, 1997. – С. 246–304.
6. Брохин И.С., Эйхманс Э.Ф., Берман Н.В. Режущие свойства неперетачиваемых пластин твердых сплавов с термодиффузными износостойкими покрытиями из карбида титана. / В кн.: Твердые сплавы. М.: Металлургия, 1976. вып.16. – С. 17–24.

Процеси механічної обробки, верстати та інструмент

Матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю

5 – 6 листопада 2021 року, м. Житомир.

Комп'ютерна верстка:
Отаманський В.В.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 17,0.

Державний університет «Житомирська політехніка»,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005