

НУБІП України

НУБІП України

МАРІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НУБІП України

01.07 – КМР. 463 "С" 2023.03.28. 047 ПЗ

МАСВСЬКИЙ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ
НУБІП України

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

УДК 62-2:621.963

НОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Технології конструкційних
матеріалів і матеріалознавства

(назва кафедри)

Лопатько К.Г.
(пів)

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Оптимізація динаміки процесу різання шляхом
електролітичного полірування інструменту»

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Керівник магістерської роботи

К.Т.Н., асистент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Михнян О.В.

(ПІБ керівника)

Виконав

Маєвський Ю.В.

(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Конструювання та дизайну
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технологій конструкційних
матеріалів і матеріалознавства
д.т.н., професор Лопатько К.Г.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
Маєвський Юрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(код і назва)
Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Визначення закономірностей розподілу температур при токарній обробці» 28 березня 2023 р. №463 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023р. 10. 10
(рік, місяць, число)
Вихідні дані до магістерської роботи: 1. Способи зниження динаміки процесу різання. 2. Фактори, що впливають на стійкість інструменту. 3. Методи визначення динамічних характеристик процесу різання. 4. Характеристики шорсткості поверхонь.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:
1. Технологічні процеси фінішної обробки інструменту
2. Розробити методіку визначення сил різання
3. Вивчити способи підвищення якості обробленої поверхонь
4. Визначити закономірності впливу шорсткості поверхонь інструменту на динаміку процесу

Керівник магістерської роботи Мухнян О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)
Завдання прийняв до виконання Маєвський Ю.В.
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ВСТУП

В сучасному машинобудуванні визначальний вплив на техніко-економічні показники технологічних і, як наслідок, виробничих процесів має вибір економічно-доцільних операцій виготовлення і зміцнення деталей машин.

Якщо в масовому і серійному виробництві ці питання, в своїй більшості, вирішуються за допомогою широко відомих методичних рекомендацій та IT програм, то в умовах ремонтного виробництва необхідно враховувати цілий спектр проблем, що пов'язані з незначними програмами і виробництво має одиничний або дрібносерійний характер.

Процеси, що забезпечують виготовлення деталей, або обробку відновлених поверхонь, як правило, пов'язані з обробкою матеріалів різанням. Саме динамічні показники операцій, що пов'язані з процесом стружкоутворення визначають спектр обладнання, інструменту, і режимів залежно від властивостей оброблюваних матеріалів.

В завдання роботи входило дослідження динамічних характеристик процесу різання матеріалів з різними фізико-механічними характеристиками. При цьому ставилось питання оптимізації і параметрів взаємодії між інструментом і заготовкою, з метою підвищення продуктивності процесу.

Також розглядалось питання підвищення стійкості інструменту. Вирішення цієї проблеми забезпечує не тільки підвищення економічних показників виробництва, а і можливість підвищення точності і забезпечення вищої якості оброблених поверхонь.

В роботі основний акцент був зроблений на зниженні динаміки процесу різання за рахунок зменшення тертя між інструментом і заготовкою.

Зрозуміло, що чим менше коефіцієнт тертя тим менше сили тертя. Це тісно пов'язано з роботою різання, яка залежить від зусиль різання і визначає потужність процесу.

Предмет досліджень - динаміка процесу різання.

Об'єкт досліджень - це визначення основних характеристик, що впливають на силові показники процесу різання.

Виходячи з об'єкту досліджень в роботі були сформувані основні задачі:

1 Визначення основних параметрів, що впливають на динамічні показники процесу різання.

2 дослідження впливу триботехнічних характеристик процесу різання.

3 визначення можливості зниження динаміки процесу різання за рахунок зменшення шорсткості поверхонь інструменту.

4 Вибір оптимальної технології фінішних операцій обробки передніх поверхонь інструменту з метою зменшення тертя.

5 Оптимізація процесу електролітичного полірування з метою зниження динаміки процесу різання і підвищення стійкості інструменту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

НУВБІП України

Основою теорії різання від початку її виникнення було вивчення механізмів опору матеріалу при його поділі на стружку і оброблену поверхню. В даний час процес різання доцільно розглядати з точки зору

НУВБІП України

механізму формування нової поверхні оброблюваної деталі шляхом відділення шару що зрізається від основного матеріалу. Тобто процес утворення стружки відходить на другий план. А з урахуванням пластичного

деформування, тертя і супутнього їм нагріву зони різання, зазначені явища

НУВБІП України

чинять негативний вплив на механізм керованого руйнування різання.

Постійне вдосконалення конструктивних матеріалів - їх властивостей і характеристик призводить при різанні до того, що важливим аспектом стає

не те, як утворюється стружка, а який вигляд вона має: переривчастий або

безперервний, і наскільки керовано вона може видалятися із зони різання.

НУВБІП України

Всі дослідження і роботи в області теорії різання можна умовно поділити на ряд досить відособлених напрямків

1. Механіка різання, що базується на положеннях механіки суцільних середовищ без зв'язку з дискретної фізикою пластичної деформації і руйнування.

НУВБІП України

2. Теплофізика різання, заснована на механічних моделях віртуальних локалізованих джерел тепла.

3. Формування властивостей поверхневого шару оброблюваного матеріалу (в основному експериментальним чином).

НУВБІП України

4. Різальний інструмент, як великий і складний комплекс, який об'єднує в собі статичні і динамічні властивості, еволюцію його працездатності при експлуатації і умови її підтримки на заданому рівні.

5. Оброблюваність матеріалів різанням з врахуванням їх структурного стану, фізико-хімічних властивостей і можливими шляхами їх зміни при додатковому зовнішньому впливі в процесі обробки (нагрівання,

НУВБІП України

охолодження, застосування вібрації, зміцнення, впливу магнітної, акустичної енергій, тощо).

6. Оптимізація технологічних умов різання, включаючи при цьому апріорну зовнішню оптимізацію в поєднанні з комп'ютерними розрахунками та внутрішню оптимізацію з системами діагностики та адаптивного управління.

Різання - найбільш поширений спосіб виготовлення деталей. Більше 80 - 85% заготовок деталей піддаються обробці різанням. Трудомісткість операцій різання становить не менше 60 - 65% від загальної трудомісткості

виготовлення машинобудівних виробів. У порівнянні з іншими процесами розмірного оброблення, різання - найбільш продуктивний, економічний, екологічний та точний метод обробки. Обробка різанням в залежності від застосовуваного інструмента підрозділяється на два основних види: лезова і абразивна. Принципова їх відмінність полягає в двох наступних факторах:

характеру взаємодії різального інструменту з матеріалом, що піддається обробленню та величині і товщині шару матеріалу, що підлягає зрізанню.

Окремо потрібно виділити поняття триботехнічної системи при різанні металів. Триботехніка визначається як наукова і технічна дисципліна, яка вивчає взаємодію поверхонь при їх відносному русі. Завдання триботехніки полягає у дослідженні тертя, змашування і зношування механічно оброблених поверхонь з метою отримання детальної уяви про їх взаємодію.

Мета досліджень з триботехніки – свідоме мінімізування і виключення непотрібних втрат всюди, де є поверхні тертя. Поверхні ковзання і кочення – це ключ до підвищення ефективності в сучасному промислово розвиненому високо механізованому суспільстві.

Значна частина триботехнічних задач в даний час вирішується малоефективним, шляхом, що призводить до великих матеріальних та енергетичних витрат, не враховуються параметри трибологічної надійності та довговічності машин, механізмів, ріжучих інструментів ще на етапі конструювання. Серед інших причин – це і відсутність комплексної

методики дослідження, яка б включала в себе кінетичні критерії оцінки процесів в зоні фрикційного контакту при різанні металів, універсальні машини тертя, параметричні моделі дослідження. Сучасний розвиток термодинаміки незворотних процесів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, синергетики, експериментальних методик дозволив одержати обширні дані про механізми трансформації та руйнування поверхневих шарів, створити банк триботехнічних даних, побудувати відповідні фізичні, параметричні моделі процесів тертя при різанні, виявити загальні закономірності процесу тертя та зношування, дати конкретні практичні рекомендації.

Важливу роль відіграє при цьому геометрія контактуючих поверхонь тертя (масштабний фактор), яка визначає значення коефіцієнту взаємного перекриття ($K_{ВП}$). Величина $K_{ВП}$ суттєво змінює швидкість процесів тертя та зношування при переході від точкового до лінійного контакту і нарешті до контакту по площині. В умовах тертя при різанні металів це призводить до зміни співвідношення швидкостей процесів утворення, трансформації та руйнування захисних вторинних структур (ВС).

Передня поверхня різця взаємодіє з прирізцевою поверхнею стружки, а задня поверхня – з відтвореною поверхнею різання. На обидві поверхні діють перемінні тиски, постійно змінюються площа контакту, шорсткість поверхні, умови тепловідводу, наростоутворення та мікроекришування, контактна температура, що призводить до різних інтенсивностей зношування робочих поверхонь різця.

У випадках коли необхідно перенести результати лабораторних досліджень на реальні вузли тертя використовують елементи теорії моделювання із врахуванням теплової динаміки процесу тертя та зношування при різанні металів.

Одна із класифікацій областей використання триботехніки може базуватися на встановленні різниці (наприклад, за твердістю матеріалів) між парами ковзання: із двох твердих, із твердої і гнучкої, а також із двох

гнучких поверхонь. Пара твердих поверхонь (метал по металу) є найбільш розповсюдженою в техніці і виробництві.

Природа поверхні твердих тіл, її хімічний склад і структура великою мірою визначають триботехнічні характеристики пар тертя. Навіть часткове покриття поверхні твердого тіла (деталі) моношаром адсорбованих атомів або молекул істотно позначається на адгезії і терті. Наприклад, 1% легованого елемента, що міститься в матеріалі, у разі дифузії до поверхні може вплинути на зносостійкість матеріалу. Те саме стосується присадок до мастильних матеріалів, котрі взаємодіючи з поверхнею твердих тіл, ефективно захищають їх від різних видів зношування.

Взаємодія твердих тіл в умовах зовнішнього тертя локалізована в найтонших поверхневих і приповерхневих (підповерхневих) шарах, що трансформуються у процесі як технологічної обробки, так і експлуатації.

Руйнування деталей вузлів тертя починається здебільшого у поверхневих шарах. У зв'язку з цим підвищується роль поверхні деталі в підвищенні надійності й довговічності вузлів тертя, що потребує розгляду її основних характеристик.

Характеристики зовнішнього тертя, змащування і зношування безпосередньо пов'язані з якістю поверхонь деталей, які в процесі роботи взаємодіють. В техніці під поверхнею деталі розуміють зовнішній шар, який за будовою та іншим фізичним властивостям відрізняється від внутрішньої частини. Комплекс властивостей, набутих поверхнею деталі в результаті обробки, характеризуються загальним поняттям "якість поверхні".

Якість поверхні деталей механізмів і машин впливає на такі їх службові властивості, як опір втомі, зносу, ерозії і корозостійкість та пов'язаних з такими властивостями спряжень, як міцність посадок з натягом і щільність рухомих і нерухомих з'єднань.

Якість поверхонь деталей машин розглядається у вихідному і робочому (експлуатаційному) стані (рис. 1.1). Вона визначається геометрією поверхні,

будовою і фізико-хіміко-механічними властивостями поверхонь шарів і напруженнями в них.

Вихідна якість зумовлюється технологією обробки. Її значення особливо велике для початку роботи матеріалів, які взаємодіють (для періоду припрацювання і подальшого зберігання в процесі експлуатації заданих параметрів).

Реальні деталі в результаті механічної обробки заготовок мають відхилення від ідеальної форми, зображеної на робочих кресленнях цих деталей. Такі відхилення називають похибками. Похибки обробленої

поверхні з точки зору причин їх утворення і методів вимірювальної техніки, що застосовуються для їх визначення, можна поділити на макро-, мікро- і субмікрогеометричні відхилення.

Характер контактування двох твердих основ, окрім геометрії поверхонь, визначається механічними, фізичними і хімічними властивостями тонких поверхневих шарів та їхнім напруженим станом.

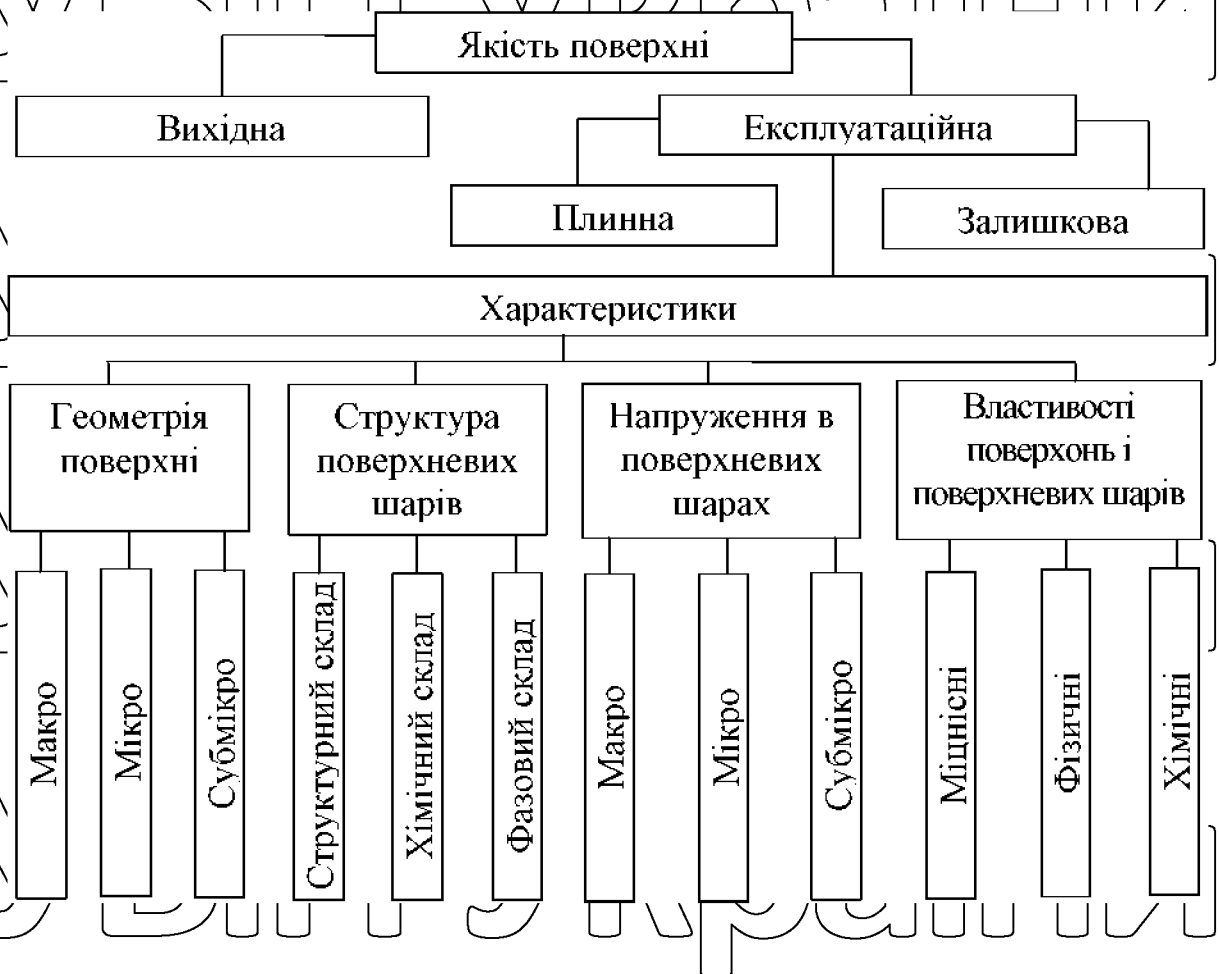


Рис. 1.1. Основні показники якості поверхні

Такі поверхневі шари, товщина яких становить від десятків ангстремів до сотих і рідко - десятих часток міліметра, мають як правило іншу структуру і властивості, ніж матеріали усередині виробу. Відмінність властивостей тонких поверхневих шарів від властивостей серцевини зумовлена трьома основними факторами:

а) станом атомів металу в поверхневих шарах, що відрізняється від стану атомів в об'ємі, наслідком чого є наявність вільної поверхневої енергії і велика адсорбційна активність;

б) сумою механічних, теплових і фізико-хімічних впливів на поверхню металу під час остаточних і попередніх операцій технологічної обробки,

в) сумою повторних циклічних, механічних, теплових і фізико-хімічних впливів на поверхню металу у разі навантаження тертям в експлуатації.

В процесі експлуатації вихідний технологічний рельєф швидко зникає. Хімічний склад і геометрія поверхонь тертя повністю змінюється. Формується нова якість поверхні. Перехід від вихідного стану до експлуатаційного здійснюється під дією факторів зовнішнього тертя: навантаження, швидкості руху, температури в зоні контакту і середовища.

Зміни якості поверхні й особливого стану тонких поверхневих шарів під час роботи пари можуть бути зворотними, які зникають після зняття навантаження, і незворотними, залишковими. Тому експлуатаційну якість поверхні визначають не тільки залишковими характеристиками після зняття навантаження, але й плинними змінами в процесі тертя.

Потрібно відмітити важливість оцінки геометричних параметрів поверхні деталей механізмів і машин, що включає оцінку макро-, мікро- і субмікровідхилень з урахуванням природи і механізмів утворення геометричних відхилень, тобто з розподілом на складові, які викликаються механічною обробкою, внутрішньою будовою і навантаженням при експлуатації.

Під макрогеометрією розуміють відхилення від форми поверхні всієї деталі або великих її ділянок. Макронерівності являють собою відхилення поверхні від номінальної форми всієї деталі: відхилення контуру від округлості: для циліндрів - конусоподібність, некруглість, бочкоподібність, сідловитість; для площин - неплосинність, випуклість, угнутість та інші.

Мікровідхилення поділяються на хвилястість, шорсткість і субмікروشорсткість.

Мікрогеометричні відхилення можуть бути технологічними і експлуатаційними. Технологічні макровідхилення зумовлені недостатньою

точністю верстата, інструмента, режимами обробки, температурними напруженнями і деформаціями. Експлуатаційні макровідхилення зазвичай спричиняються нерівномірністю зношування, що виникає в результаті неправильного установлення деталей рухомого з'єднання, вібраціями і

перевантаженнями в процесі роботи. Залежно від ступеня точності виготовлення деталі, у відповідних стандартах наводяться граничні відхилення від площинності, прямолінійності, форми циліндричних поверхонь, радіального биття, паралельності і перпендикулярності. З

підвищенням якості деталей механізмів і машин, їхньої надійності і довговічності механічні вимоги до форми деталей зростають.

Під хвилястістю поверхонь розуміють сукупність більш чи менш регулярно по чергових підвищень чи впадин з кроком хвилі значно більшим за її висоту (рис. 1.2).

Хвилястість являє собою сукупність вершин і впадин, які періодично повторюються на поверхні, на відстані меншій, ніж у макронерівностей, і більшій, ніж у мікронерівностей.

НУВІП УКРАЇНИ

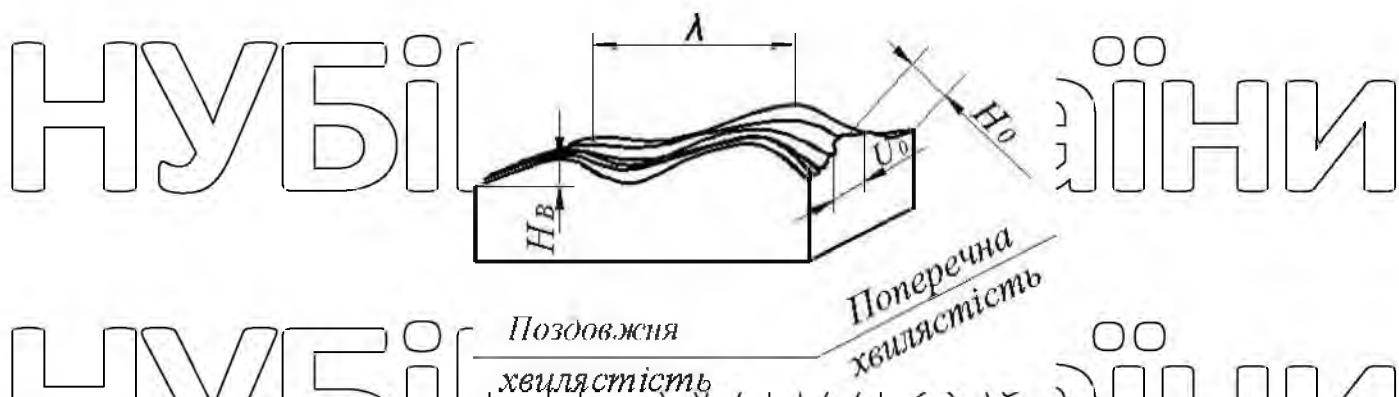


Рис. 1.2. Схема хвилястості поверхні: λ — крок хвилі в поздовжньому напрямку; H_B — висота хвилі в поздовжньому напрямку; λ_0 довжина хвилі в поперечному напрямку; H_0 — висота хвилі в поперечному напрямку.

Форма коливань близька до синусоїди з періодом порядку 10 мм. Для хвилястості відношення кроку до висоти нерівностей змінюється від 150 до 500.

Хвилястість (∇) напрямі головного руху при різанні називають поздовжньою, а в перпендикулярному напрямі поперечною (рис. 2.2).

Мікрогеометрія (шорсткість) - характеристика форми і розмірів поверхневих нерівностей з відносно малим кроком на базовій довжині (відношення кроку до висоти нерівностей повинно бути менше 50).

Шорсткість поверхні - розмірна характеристика поверхні і регламентована стандартами та іншою технічною документацією. У відповідності з цими державними стандартами передбачається 6 основних параметрів, що характеризують шорсткість поверхні: 3 висотних - R_a , R_z , R_{max} , 2 крокових - S_i і S_m , віднесена опорна довжина профілю t_p (рис. 1.3).

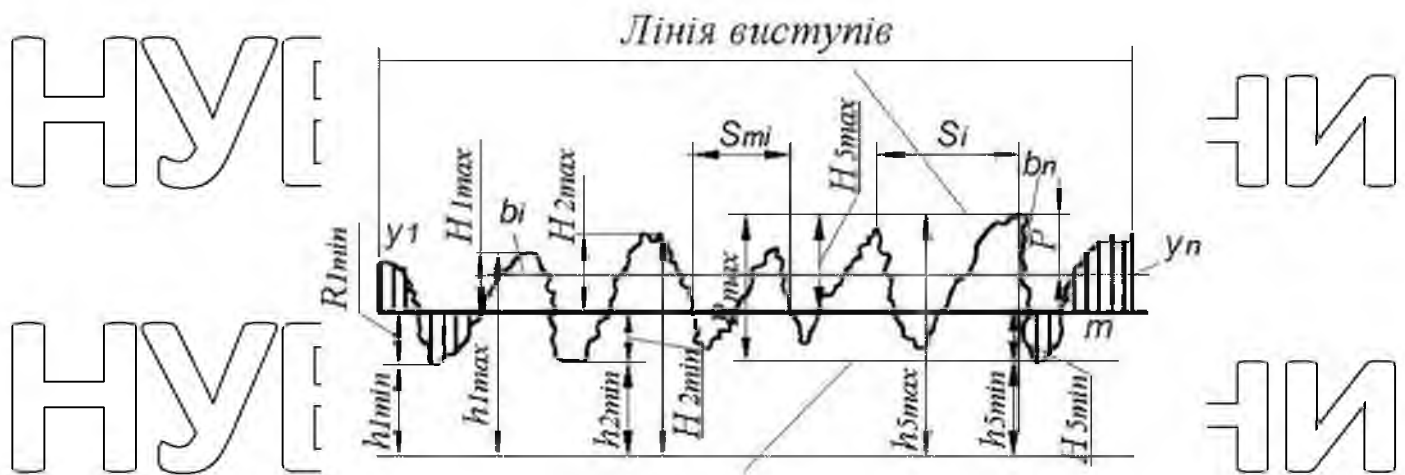


Рис. 1.3. Вихідна шорсткість.

Середнім арифметичним відхиленням профілю R_a , називають середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини l :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \text{ або } R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx.$$

На профілограмі розміщення середньої лінії профілю визначають так, щоб площі виступів і впадин контуру профілю F по обидва боки від неї були рівні, тобто

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{2k-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_{2k}; \quad \int_0^l y(x) dx = 0.$$

Відносна однорідність мікронерівностей поверхні деталі дозволяє судити про шорсткість у даному напрямку за результатами дослідження ділянки порівняно невеликої довжини. Довжину базової лінії, що використовується для виділення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні, називають базовою довжиною l .

Висота нерівностей профілю по 10 точках R_z являє собою суму середніх абсолютних значень висот з п'яти найбільших виступів профілю і глибини п'яти найбільших впадин профілю в межах базової довжини.

НУБІП

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right),$$

де y_{pi} – висота найбільшого i -го виступу профілю;

y_{vi} – глибина i -ї найбільшої впадини профілю.

ІИ

НУБІП УКРАЇНИ

Найбільша висота нерівностей профілю R_{max} є повною висотою профілю, тобто відстанню між лінією виступів профілю і лінією впадин профілю в межах базової довжини. Середній крок місцевих виступів профілю S – середнє значення кроків місцевих виступів профілю в межах базової довжини:

НУБІП

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i.$$

Середній крок нерівностей профілю S_m профілю по середній лінії в

межах базової довжини:

НУБІП

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}.$$

Параметри S і S_m дають уяву про відстані між профілю і середньою лінією.

НУБІП УКРАЇНИ

Відносна опорна довжина профілю t_p – відношення опорної довжини профілю, що дорівнює сумі довжин відрізків, які відсікаються на заданому рівні в матеріалі профілю лінією, еквівалентною середній лінії в межах базової довжини до базової довжини:

НУБІП

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i.$$

Параметр t_p характеризує форму нерівностей профілю, даючи уяву про розподіл висоти нерівностей по рівнях січення профілю.

НУБІП УКРАЇНИ

Параметри S і S_m в комплексі з висотними параметрами R_a і R_z дозволяють визначити, крім висоти нерівностей, і їх нахил, що має значення для антифрикційних характеристик поверхонь, які труться.

Вищенаведені дані дозволяють ширше поглянути на процес фінішного оброблення твердосплавного різального інструменту та детальніше розглянути методи оброблення поверхонь.

Аналіз фінішних методів поверхневої обробки інструменту. При алмазному шліфуванні і поліруванні твердосплавного різального інструменту завдяки специфічним властивостям алмазу в поверхневому шарі твердих сплавів, при дотриманні необхідних умов оброблення, як правило виникають залишкові стискаючі напруження, які є бажаними для поверхні твердосплавного інструменту. Величина зазначених напружень

залежить від умов оброблення і може досягати 2500-3000 МПа, глибина залягання складає 7- 15 мкм.. Недотримання умов оброблення, або використання засаленого алмазного круга призводить до збільшення локальних температур в зоні різання, що є причиною формування позитивних розтинаючих напружень до 1000-1500 МПа. При цьому на поверхні зразків твердого сплаву можуть виникати мікротріщини, які є наслідком формування в поверхневих шарах підвищених позитивних залишкових напружень в результаті термо-пластичного деформування.

Загальний недолік алмазного абразивного оброблення різального інструменту – тонковий, або лінійчатий контакт алмазного інструменту з оброблюваною поверхнею, через що виникає складність оброблення поверхонь складного профілю, якими є наприклад передня поверхня БНТІ з спеціальними стружколамними канавками, особливим профілем різального леза, що потребує застосування спеціального інструменту. У зазначених зонах алмазне оброблення або дуже ускладнене, або практично неможливе. Вирішення цієї проблеми досягається за рахунок використання віброабразивного, або дрібструминного і гідроабразивного оброблень, оброблення у вільному абразивному середовищі шляхом застосування спеціальних щіток з еластичними волокнами. Відзначимо, що вказані методи дозволяють забезпечити пластичне деформування поверхневого

шару, отримати в поверхневому шарі більш сприятливу, з точки зору міцності сплавів, епюру залишкових напружень.

При ібрабразивному обробленні глибина залягання негативних залишкових напружень складає 200 мкм і більше, а їх величина складає 2000 – 3000 МПа аналогічно алмазному обробленні. Досяжна шорсткість поверхні складає Ra 0,5-0,8. При чому вважається, що зменшення шорсткості поверхні інструменту з твердого сплаву після вібро- і струминних методів оброблення не відіграє значної ролі у підвищенні працездатності.

Недоліком дрібструминного та гідродрібструминного методів є низька ефективність оброблення деталей, які мають складну поверхню. Це обумовлено тим, що струмінь не забезпечує рівнобічних умов зіткнення абразивних часток з різними ділянками оброблюваної поверхні. Для запобігання цих недоліків, при обробленні складнопрофільних деталей, необхідно застосовувати декілька струменів, що ускладнює технологічну схему оброблення. Недоліком оброблення у вільному абразивному середовищі шляхом застосування спеціальних щіток з еластичними волокнами є відносно не контролюєма зміна розмірів, особливо різальних

кромки.

Головний недолік зазначених методів оброблення пов'язаний з практично слабо контрольованим процесом зміни геометрії робочих елементів різального інструменту, в особливості радіусів різальних кромки, а також наявність на лезах сколювань і викрашування в результаті чисельних мікроударів вібротіл, дробі, абразивних частинок об поверхню різального інструменту. У зв'язку з тим широке застосування ці методи отримали переважно для твердосплавного бурового, породоруйнуючого інструменту, коли необхідне отримання максимального зміцнення поверхневого шару окремих робочих елементів інструменту, тому широкого застосування при обробленні БНТН ці методи не отримали.

За своєю дією механізм зміни властивостей поверхневого шару при вібро- і струминних методах оброблення аналогічні алмазному обробленню. На поверхні інструменту з твердого сплаву відзначається зміцнення карбідних зерен WC, (W, Ti)C, (W, Ti, Ta)C, в наслідок росту мікронапружень у кобальтовій фазі формуються залишкові напруження стискання, що сприяє зниженню імовірності зародження втомленої тріщини в кобальтовій фазі. Спостерігається також подрібнення блоків мозаїки в зернах карбиду вольфраму, внаслідок підвищення його мікропластичності.

В останні роки широке застосування в якості методів фінішного оброблення, яка забезпечує як полірування поверхні так і поверхневе зміцнення набуло магнітно-абразивне оброблення (МАО), яке робить можливим оброблення складнопрофільних деталей з високою ефективністю і продуктивністю: досягненням заданої шорсткості, збереженням основних геометричних розмірів деталей і в деяких випадках їх корегування.

Переваги застосування цього методу полягають в обробленні в умовах, коли магнітно-абразивний інструмент невелике відносно оброблюваної поверхні і при певних умовах може забезпечувати рівномірне поверхневе оброблення, яке може забезпечити як рівномірне отримання низької шорсткості поверхні так і зміцнення поверхневого шару деталей.

Вважаючи на переваги і недоліки традиційних методів фінішного оброблення БНГП, а також їх різноманітну просторову форму і широкую номенклатуру застосовуваних пластин доцільним є проведення на заключних стадіях виготовлення методів об'ємного магнітно-абразивного оброблення. До пристроїв МАО складнопрофільних деталей, якими безумовно є БНГП, відносяться установки, які реалізують схему, що містить кільцеву робочу камеру і магнітну систему з магнітопроводом, обладнаним полюсними наконечниками, розташованими з протилежних бічних сторін камери.

Оброблювані деталі переміщують по складній траєкторії навколо вісі кільцевої камери. При цьому завдання такої траєкторії визначається складною формою деталей і відтворюється додатковими пристроями, які

забезпечують вирішення проблеми отримання підвищеної продуктивності і якості процесу МАО. Відомо більше 200 схем, що відрізняються за конструкцією і принципом дії в залежності від виду, форми і матеріалу оброблюваних деталей, відносними рухами, функціональним використанням магнітного поля, тощо. Запропоновані класифікації методів і схем МАО складнопрофільних деталей не враховують особливостей формування МАІ і необхідну енергію, яка підводиться з боку МАІ до оброблюваної поверхні для здійснення процесу оброблення. Вважаючи на

зазначене, а також конструкції і схеми процесу МАО, запропоновані в логічним є поділити існуючі методи і схеми МАО, в особливості тих, що застосовують при обробленні деталей складної форми, на два типи, відповідно до розміру робочих щілин - розміру між полюсними наконечниками робочої камери і оброблюваною поверхнею. При цьому важливим стає врахування:

1. особливостей формування магнітно-абразивного порошку в робочих зонах, додаткових сил;
2. конструктивних формоутворюючих елементів магнітних систем верстатів;
3. властивостей магнітно-абразивних порошків;
4. величини і типу магнітного поля в робочих зонах;
5. характер і траєкторії переміщення оброблюваних деталей при МАО
6. швидкості МАО і особливостей оброблення деталей.

Використання таких схем неефективно із-за складності створення достатніх для оброблення сил тільки за рахунок сил магнітного походження [16]. Фактично магнітне поле виконує роль основного навантажуючого на МАІ фактору в процесі МАО, який забезпечує ефективне і рівномірне оброблення.

Варто відокремити метод електрихімічного оброблення (ЕХО), що базується на явищі локального анодного розчинення металу при електролізі.

Один з електродів (заготовка) приєднаний до позитивного полюса джерела живлення і є анодом, а другий (інструмент) — до негативного; останній є катодом. Особливостями електролізу є просторове окислення (розчинення) анода і відновлення (осадження) металу на поверхні катода.

Утворені продукти розчинення (шлам) у вигляді солей або гідроксидів металів віддаляються з поверхні анода (заготовки) або гідравлічним потоком електроліту, або механічним шляхом. При електрохімічному обробленні застосовують такі електроліти, катіони яких не осаджуються при електролізі на поверхні катода. Цим забезпечується основна перевага

ЕХО перед електроерозійним обробленням — незмінність форми електрода-інструмента (ЕІ). Як електроліт найчастіше використовуються водні розчини солей NaCl , NaNO_3 та Na_2SO_4 . Для інтенсифікації процесу оброблення електроліт підігрівають до $40 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

При використанні електрохімічних методів силовий вплив інструмента на матеріал оброблюваної заготовки практично відсутній, тому механічні властивості матеріалу істотного впливу на процес обробки не роблять

Найефективніше обробляти електрохімічними методами високолеговані жароміцні і нержавкі сталі, тверді сплави титанові та магнієві сплави, напівпровідникові та інші важкооброблювані матеріали.

Процеси електрохімічної обробки застосовуються в основному для формозміни складних поверхонь кувальних штампів, прес-форм, лопаток турбін та компресорів; для обробки і прошивання отворів та порожнин довільної форми, для відрізання заготовок електродом-диском і для інших операцій.

Основними різновидами електрохімічного оброблення є

За метою обробки:

1. Електрохімічне поверхневе оброблення (електрохімічні: шліфування, полірування, доведення тощо) Електрохімічне поверхневе оброблення:

Електрохімічне полірування ведуть у ваннах, заповнених електролітом.

Форма катода визначається формою оброблюваної деталі. Ділянки, які не підлягають обробці, ізолюються захисними покриттями. При обробці використовують постійний струм під напругою 6...12 В. При подачі напруги на електроди починається розчинення поверхні заготовки-анода.

Розчинення відбувається головним чином на виступах мікронерівностей поверхні внаслідок більшої густини струму на їх вершинках. В результаті виборчого розчинення, тобто розчинення виступів, відбувається згладжування мікронерівностей оброблюваної поверхні. При цьому

поверхня немов би вирівнюється і зменшується параметр шерсткості до $Ra = 0,8 \dots 0,2$ мкм.

Електрохімічне розмірне оброблення (електрохімічні: об'ємне копіювання, прошивання, калібрування, точіння, видалення задирок, маркування тощо)!

Найбільшого поширення набуло електрохімічне розмірне оброблення профільованим електродом (об'ємне копіювання). Робоча частина інструмента являє собою профіль зворотний до профілю деталі. При зближенні електродів поверхня анода (заготовки) починає розчинятися і

копіювати поверхню катода (інструменту). Залежно від складності і розмірів профілю точність обробки становить 0,1...0,5 мм. Вона залежить головним чином від міжелектродного зазору, електричної напруги, швидкості циркуляції електроліту, його температури та інших факторів. Зі

зменшенням відстані між електродами інтенсивність анодного розчинення збільшується. Підбираючи електроліт електрохімічними методами можна обробляти практично будь-які струмопровідні матеріали, досягаючи при цьому високої якості оброблюваної поверхні. При цьому одночасно обробляється вся поверхня заготовки, яка знаходиться під активним

впливом катода, що забезпечує високу продуктивність процесу. Швидкість знімання металу становить зазвичай 0,1...1,2 мм/хв.

За принципом реалізації.

1. Анодно-механічне оброблення - це спосіб обробки металів і сплавів, при якому заготовка (анод) піддається електрохімічному розчиненню в рідкому середовищі, а з поверхні заготовки одночасно видаляється розчинений матеріал за допомогою механічного інструменту (катода).

Принцип роботи анодно-механічної обробки полягає в наступному: Заготовка підключається до позитивного полюса джерела живлення, а інструмент - до негативного. В зону обробки подається електроліт. Під дією електричного поля на поверхні заготовки утворюється окисна плівка.

Механічний інструмент зішліфовує окисну плівку, а разом з нею і розчинений матеріал заготовки.

Переваги анодно-механічної обробки:

Широкий спектр оброблюваних матеріалів: анодно-механічне оброблення можна використовувати для обробки будь-яких струмопровідних матеріалів, включаючи високоміцні і важкооброблювані сплави, а також в'язкі матеріали.

Висока продуктивність: анодно-механічне оброблення дозволяє отримувати високоякісну поверхню за відносно короткий час.

Висока точність: анодно-механічне оброблення забезпечує високу точність обробки, що дозволяє отримувати деталі з заданими розмірами і формою.

Недоліки анодно-механічної обробки:

Недоліком анодно-електрохімічної обробки є низька локалізація процесу знімання металу. Це означає, що розчинення металу відбувається не тільки в призначеній зоні, а й у прилеглих ділянках поверхні. Це може призвести до нерівномірності обробки та утворення непотрібних заглиблень.

Необхідність застосування інтенсивної вентиляційної системи: анодно-механічне оброблення супроводжується виділенням газоподібних продуктів, які необхідно видаляти з робочої зони.

Можливість утворення забруднень на поверхні заготовки: при анодно-механічній обробці на поверхні заготовки можуть утворюватися забруднення, які необхідно видалити в процесі обробки.

Застосування анодно-механічної обробки:

Для важкооброблюваних матеріалів, таких як високоміцні сплави, кераміка, скло. Вона також дозволяє обробляти тонкі вироби, які легко деформуються при механічній обробці, та крихкі матеріали, які можуть бути пошкоджені при механічному впливі.

Обробка деталей машин і приладів: анодно-механічне оброблення широко застосовується для обробки деталей машин і приладів, зокрема, для розрізання, свердління, шліфування та інших видів обробки деталей з високоміцних і важкооброблюваних матеріалів.

Обробка штампів і форм: анодно-механічне оброблення дозволяє отримувати штампи і форми з високою точністю і чистотою поверхні.

Обробка медичних інструментів: анодно-механічне оброблення дозволяє отримувати медичні інструменти з високою чистотою поверхні, що відповідає вимогам стерилізації.

Катодне оброблення (катодне відновлення металу) — електрохімічний спосіб одержання металевого покриття на металі, який використовується як катод.

Катодна електрохімічна обробка характеризується процесом протікання електричного струму в електрохімічній системі, при цьому іони металу з розчину виділяються на катоді (ним є форма). Після утворення на формі шару металу необхідної товщини копії відділяють від форми і отримують деталь з високою точністю відтворення геометричної форми та копіюванням рельєфу поверхні.

Найбільшого поширення з цих методів отримали анодно-механічне і електроабразивне оброблення. При анодно-механічному обробленні заготовка підключається до позитивного полюса джерела живлення, а інструмент - до негативного. В зону обробки подається електроліт. Під дією

електричного поля на поверхні заготовки утворюється окисна плівка, яка потім механічно видаляється за допомогою інструменту. При електроабразивному обробленні заготовка підключається до негативного полюса джерела живлення, а інструмент - до позитивного. В зону обробки подається електроліт і абразивний матеріал. Під дією електричного поля абразивний матеріал руйнується і утворює струмінь дрібних частинок, які видаляють матеріал з поверхні заготовки.

Це поєднання дозволяє збільшувати продуктивність обробки до 20 разів, не знижуючи якості обробки. Анодно-механічне оброблення дозволяє обробляти високоміцні і важкооброблювані матеріали, а електроабразивне оброблення - отримувати високоякісну поверхню з високою точністю.

До недоліків електрохімічних процесів слід віднести наступні:

Порівняно низька точність обробки. Це пов'язано з тим, що процес обробки залежить від багатьох факторів, таких як щільність струму, полярність, склад електроліту тощо.

Необхідність надійного антикорозійного захисту елементів електрохімічних верстатів. Це пов'язано з тим, що електрохімічні процеси супроводжуються утворенням електрохімічної корозії.

Висока енергоємність. Це пов'язано з тим, що при електрохімічній обробці витрачається енергія на розчинення матеріалу.

Загалом електрохімічна обробка має високу продуктивність та економічність. Вона дозволяє знизити трудомісткість виготовлення деталей у порівнянні з традиційними механічними методами обробки.

Електрохімічна обробка все більше витісняє механічну обробку в операціях по оздобленню деталей у крупносерійному та масовому виробництві.

Електролітно-плазмове полірування - це технологія, яка дозволяє за короткий час (не більше 5 хвилин) досягти дзеркальної поверхні і високого класу

шорсткості виробів з різних струмопровідних матеріалів без використання будь-яких шкідливих речовин. Що в свою чергу збільшує продуктивність

будь-якого виробництва. Електролітно-плазмове полірування (ЕПП) застосовується в основному для наступних цілей:

- Високоякісне полірування деталей різного профілю. При цьому досягається параметр шорсткості до $R = 0,04$ мкм, що на 3-4 класи вище, ніж після ручного полірування.

- Зачистка задірок товщиною до 0,3 мм.
- Притуплення гострих кромки.
- Зняття абразивних вкраплень.
- Видалення кольорів мінливості після зварювання.

- Підготовка виробів до подальшого нанесення покриттів.
- Дезактивація і очищення вузлів і механізмів, що мають високу дозу радіації.

Технологічний процес електролітно-плазмового полірування

складається з наступних етапів:

Підготовка деталі до полірування, включаючи кріплення на спеціальному підвісі.

Завантаження деталі на підвіску, яка може здійснюватися вручну або за допомогою маніпулятора.

Плазмове полірування, яке включає в себе автоматичне виконання полірувальною установкою наступних операцій

Подача напруги на підняту підвіску.

Повільне опускання в електроліт.

Витримка в електроліті протягом 2-8 хвилин.

Підйом підвіски з деталями.

Відключення напруги.

Допускається повторна обробка.

Промивання деталі в теплій воді протягом декількох хвилин.

Сушка деталі теплим повітрям.

Вивантаження деталі, яка також може здійснюватися вручну

Контроль якості обробленої поверхні.

Основною перевагою електролітно-плазмового полірування є її простота у використанні і розміщенні на виробництві. Для роботи установки електролітно-плазмового обробки необхідно підвести.

водопровідну воду або систему оборотного водопостачання; витяжну вентиляцію; каналізацію; стиснене повітря (при наявності); напругу 380 В, 50 Гц.

Устаткування розташовується на площі від 1 до 15 квадратних метрів в залежності від потужності установки. 21. Мехтехнологии. Разработка и

производство специализированного оборудования: Установка

электролитно-плазменного полирования [Электронный ресурс] – 2018.

Режим доступа: <http://mehtehn.ru/products/category/ustanovka-elektrolitno-plazmennoyurobivki> (Дата обращения : 17.04.2020)

До інших переваг технології електролітно-плазмового полірування відносяться:

Одночасна і рівномірна обробка всієї поверхні виробу.

Велика продуктивність в порівнянні з ручною обробкою.

Суміщення операцій обробки (одночасна очищення поверхні від домішок і її полірування).

Екологічна чистота процесу.

Повна автоматизація процесу.

Додатково можна зазначити наступні моменти:

Електролітно-плазмове полірування є неруйнівним методом обробки, що дозволяє зберегти структуру поверхні виробу.

ЕПП дозволяє отримати гладку, рівну і блискучу поверхню, яка має високі декоративні та експлуатаційні властивості.

ЕПП є екологічно безпечним методом обробки, так як не використовує шкідливих речовин.

НУБІП УКРАЇНИ

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ

Величина і напрямок сили різання, що діє при обробленні матеріалів, є важливими характеристиками цього процесу. Від них залежать умови роботи верстата, інструмента, пристрою, точність оброблення деталі та ін.

Проаналізуємо більш детально причини виникнення сили різання та її залежність від умов оброблення.

Під час процесу різання на контактні поверхні леза інструмента діють нормальні та дотичні навантаження, зумовлені пластичною і пружною деформаціями оброблюваного матеріалу і стружки. Контактні навантаження

зумовлюють дію стружки на передню поверхню різця з нормальною силою, а поверхні різання і навантажень на передній і задній поверхнях леза інструмента оброблюваної поверхні на задню поверхню з нормальною силою. Під час відносного руху інструмента і заготовки на передній і задній

поверхнях леза інструмента діють сили тертя, відповідно, стружки по передній поверхні леза і заготовки по задній поверхні леза. Геометрична сума всіх сил, що діють на лезо інструмента являє собою силу різання P , яку важко виміряти безпосередньо, оскільки її величина і напрямок залежать від багатьох чинників (матеріалу заготовки та інструмента, геометрії

інструмента, режиму різання, охолодження та ін.). На практиці досліджують не силу різання, а її складові. Точку дії сили різання приймають на різальній кромці.

Розрізняють такі складові сили різання:

P_z – головна складова сили різання, яка за напрямом збігається із швидкістю повного руху різання у вершині леза. Для обертового руху головну складову сили різання називають дотичною, або тангенціальною;

P_x – осьова складова сили різання, паралельна осі головного обертового руху різання і направлена проти поздовжньої подачі;

P_y – радіальна складова сили різання направлена по радіусу головного обертового руху різання (протилежно напрямку поперечної або вертикальної подачі).

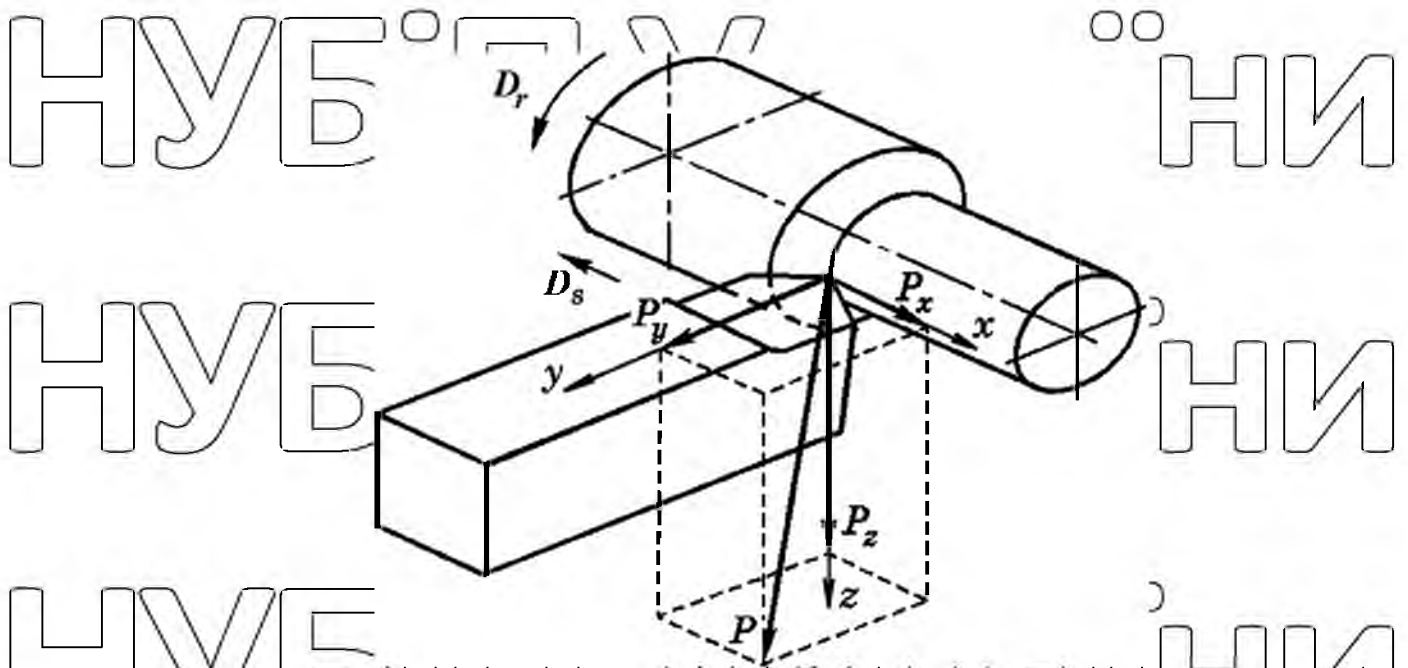


Рис. 2.6. Схема сил, що діють на різці та складові сили різання

За значенням головної складової сили P_z розраховують на міцність деталі і вузли коронки швидкохідних верстатів, різці (інструмент), визначають потужність різання і крутний момент. За осовою складовою силою різання P_x розраховують на міцність механізми поздовжньої подачі верстата, різця на згин. Радіальна складова сили P_y визначає силу відтискування різця і прогин заготовки, що впливає на точність виготовлення деталі. За складовою P_y розраховують на міцність механізми поперечної подачі і на жорсткість технологічної системи верстата.

Сила різання P (рівнодійна її складових) визначається, як сума векторів трьох складових P_z , P_x , P_y . У деяких випадках однієї із складових P_x або P_y може не бути.

Основними факторами, що впливають на сили різання є:

- Фізико-механічні властивості і структура оброблюваного матеріалу.

Міцніші матеріали вимагають більших зусиль для різання. Крім того, матеріали з більшою пластичністю утворюють більш товсту стружку, що також збільшує силу різання.

- Геометричні параметри леза інструмента. Форма і розміри різальних кромок впливають на величину і напрямок сили різання. Наприклад, різці з більшою загостренням мають меншу силу різання.



Рис. Геометричні параметри леза інструмента.

- Елементи режиму різання. Швидкість різання, подача і глибина різання також впливають на силу різання. Швидкість різання має найбільший вплив на силу різання. Чим вища швидкість різання, тим менша сила різання. Подача і глибина різання впливають на силу різання в меншій мірі.

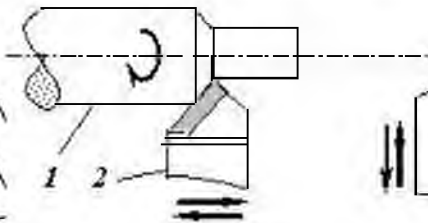


Рис. Елементи режиму різання

- Умови оброблення. Охолодження сприяє зменшенню тертя, як наслідок, зменшує силу різання. Крім того, вібрації та удари в процесі оброблення також можуть впливати на силу різання.

У практиці механічного оброблення використовують такі емпіричні формули складових сили різання:

$$P_z = C_{P_z} T^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} V^{u_{P_z}}; \quad (2.1)$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}}; \quad (2.2)$$

$$P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} s^{y_{P_x}} v^{n_{P_x}}; \quad (2.3)$$

де C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} - коефіцієнти, які враховують властивості оброблюваного матеріалу і матеріалу інструменту;

t - глибина різання, мм;

s - подача, мм/об;

v - швидкість різання, м/хв;

x_P , y_P , n_P - показники степенів, які враховують вплив відповідно t , s і v на складові сили різання.

Швидкість різання впливає на силу різання лише при обробленні

різцями (інструментами) з пластинами із твердих сплавів.

При обробленні різцями зі швидкорізальної сталі швидкість не впливає на силу різання $n_P = 0$.

Усі коефіцієнти і показники степенів наведені в довідниках, що використовуються при призначенні режимів різання.

Зв'язок між змінними умовами різання і складовими силами P_z , P_y і P_x зазвичай знаходять експериментально [28, 31 та ін.]. 28. Полетика М.Ф. Приборы для измерения сил резания и крутящих моментов / М.Ф. Полетика.

– М. ; Свердловск : Машгиз, 1963. – 105 с. 29. Аршинов В.А. Резание

металлов и режущий инструмент : учебник / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев.

– М. : Машиностроение, 1975. – 440 с. 30. Розенберг А.М. Динамика

фрезерования / А.М. Розенберг. – М. : Советская наука, 1945. – 360 с. 31.

Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов : учебник / В.Ф. Бобров. – М.

: Машиностроение, 1975. – 344 с.

НУБІП УКРАЇНИ

Значення коефіцієнтів і показників степенів у формулах для розрахунку сил P_z , P_y і P_x для зовнішнього обточування твердосплавним різцем

Таблиця

Матеріал заготовки	Подача, мм/об	Коефіцієнти і показники степенів при визначенні											
		P_z				P_y				P_x			
		C_{P_z}	x_{P_z}	y_{P_z}	z_{P_z}	C_{P_y}	x_{P_y}	y_{P_y}	z_{P_y}	C_{P_x}	x_{P_x}	y_{P_x}	z_{P_x}
Сталь $R_m=750$ МПа	до 0,75	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1,0	0,5	-0,4
	понад 0,75									315		0,2	

Прилади для вимірювання складових сили різання.

Складові сили різання вимірюють динамометрами. Якщо динамометр вимірює одну складову, то він називається однокомпонентним, дві – двокомпонентним і три – трикомпонентним.

До динамометрів пред'являють наступні основні вимоги:

1. Точність виміру. При вимірах сил, необхідних для визначення потужності, що витрачається на різання, розрахунків на міцність і жорсткість інструментів та деталей верстатів, похибка виміру не повинна перевищувати 2-3 %. Для дослідження фізичних процесів різання точність вимірів повинна становити 1-1,5 %, а у деяких випадках доходити до 0,5 %.

2. Мала інерційність. Для цього частота власних коливань динамометра повинна значно перевершувати частоту коливань вимірюваної системи.

Наприклад, для вимірювання сил при високошвидкісних режимах різання динамометр повинен мати малу інерційність, щоб не спотворювати результати вимірювання.

3. Вібростійкість при будь-яких швидкостях різання. Для цього пружні ланки динамометрів, що сприймають дію сил, повинні мати максимально можливу жорсткість.

4. Відсутність взаємного впливу складових сили різання, тобто датчик динамометра, що сприймає дію однієї зі складових сили різання, не повинен реагувати на дію інших складових.

За принципом дії Динамометри поділяють на гідравлічні, пружно-механічні і пружно-електричні [31]. У всіх конструкціях динамометрів знаходиться пружна ланка, деформація якої під дією сили реєструється механічними чи електричними датчиками. Найпоширенішими є електричні динамометри, які мають високу чутливість, безінерційність і можуть використовуватися для вимірювання сил у широкому діапазоні значень. У цих динамометрах використовують електроконденсатори, п'єзоелектричні, дротяні, індуктивні та інші датчики.

Для проведення досліджень використовувався удосконалений силвимірювальний комплекс, який включав універсальний динамометр УДМ-6000 (УДМ). Динамометр УДМ-6000 призначений для вимірювання сил різання при різних видах механічної обробки матеріалів: точіння, свердління, фрезерування і шліфування. Показання динамометра не залежать від точки прикладання сили різання. Залежно від виду оброблення динамометр можна обладнати відповідними пристроями.

Цей динамометр має такі переваги:

Однчасне вимірювання трьох складових сили різання (P_z , P_x , P_y а також моменту пари сил $M_{кр}$ відносно осі Ox).

Незалежність показань від точки прикладання сили різання.

Можливість використання для різних видів оброблення завдяки наявності відповідних пристроїв (для точіння на нього встановлюють різетримач, для свердління і оброблення нарізі мітчиком - округлий стіл; для шліфування і фрезерування - лемата.)

Динамометр УДМ-6000 забезпечує вимірювання граничних сил у межах : $P_z = 6000$ Н, $P_y = 3000$ Н, $P_x = 3000$ Н і $M_{кр} = 500$ Н•м.

На рисунку 2 показано схему силвимірювального комплексу, який складається з наступних елементів: динамометра УДМ 1, чотириканального підсилювача УТ 4-1 або ТА-5 3, щита реєструвальних приладів 2, світлочутливого осцилографа Н041.У4 4, з'єднувальних кабелів.

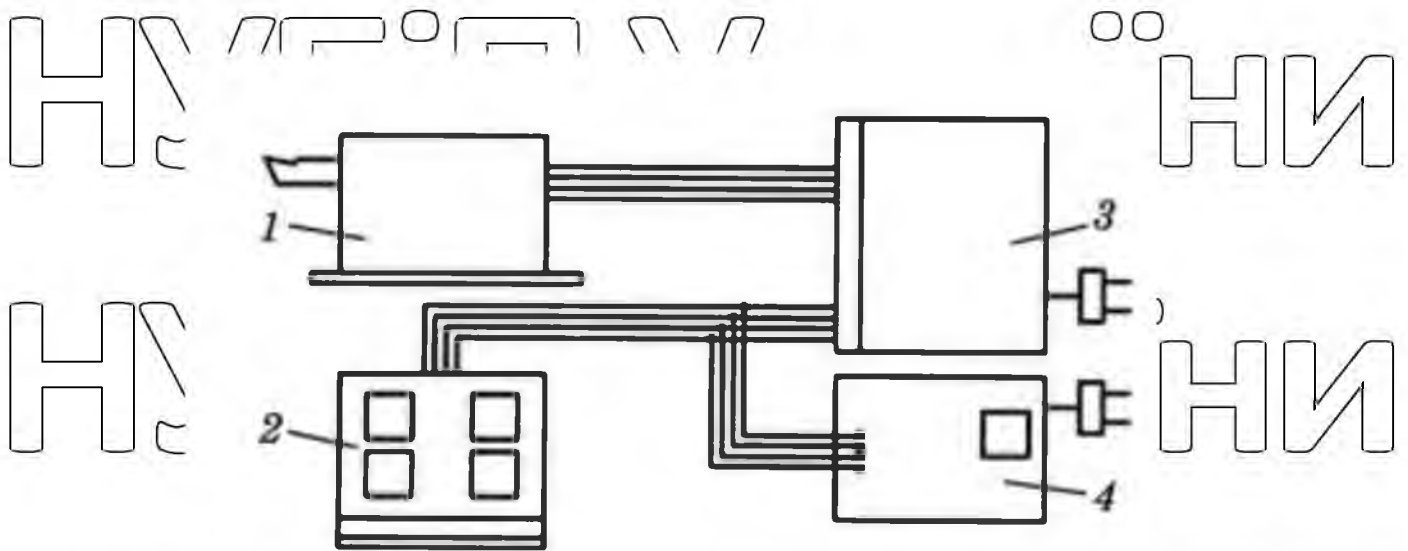


Рис. 2 Схема силовимірювального комплексу.

Сили, які виникають у процесі різання, сприймаються шістнадцятьма пружними опорами. На пружні елементи опор наклеюють дротяні тензодатчики. Електроопір тензодатчиків змінюється пропорційно значенню пружної деформації елементів опор. Тензодатчики з'єднуються в схеми залежно від вимірюваної складової сили різання чи крутного моменту. Сумарні сигнали датчиків підсилюються УТ 4-1 і їхні значення відліковуються за допомогою міліамперметрів М104 ресетрувального приладу або записуються осцилографом Н041.У4.

Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей

Найважливішими експлуатаційними характеристиками деталей машин - це зносостійкість і опір втомі.

Зносостійкість - це здатність поверхні деталі протистояти зношуванню, тобто мікроруйнуванню у вигляді окремих часток, у процесі експлуатації.

Опір втомі - це здатність деталі протистояти багаторазово повторюваним знакозмінним навантаженням у процесі експлуатації.

Недостатній опір втомі приведе до інтенсивного зародження і розвитку тріщин та швидкій поломці деталі. Умови експлуатації деталей

різноманітні, у зв'язку з чим, до них висувають додаткові вимоги, такі як корозійна стійкість, відбивна здатність, електричні, магнітні, естетичні властивості і т.п. При конструюванні і у процесі виготовлення деталей важливо знати, як впливають характеристики поверхонь деталей на їх експлуатаційні властивості.

Шорсткість поверхні є однією з найважливіших характеристик, що впливають на експлуатаційні властивості деталей. Вона визначає характер взаємодії поверхонь, що труться, і, відповідно, їх зносостійкість, опір втомі та корозійну стійкість. Для кожної пари поверхонь тертя існує оптимальна

величина шорсткості, при якій зношування мінімальне. Це пояснюється тим, що при наявності на поверхні нерівностей, висота яких перевищує оптимальні значення, зростають механічне зачеплення, їх сколювання і зрізання, у результаті чого відбувається підвищене зношування деталей.

При висоті нерівностей, менше оптимального значення на поверхні погано втримується мастило, зношування зростає внаслідок більш щільного зіткнення поверхонь тертя, що призводить до молекулярного зчеплення і схоплювання.

Шорсткість поверхні також впливає на опір втомі деталей. Втомному руйнуванню металу сприяють окремі дефекти і нерівності на поверхні деталі, які є джерелами концентрації напружень. При грубому обробленні, коли на поверхні є глибокі риси, останні виступають у ролі первинних джерел концентрації напружень. У западинах нерівностей при циклічних і

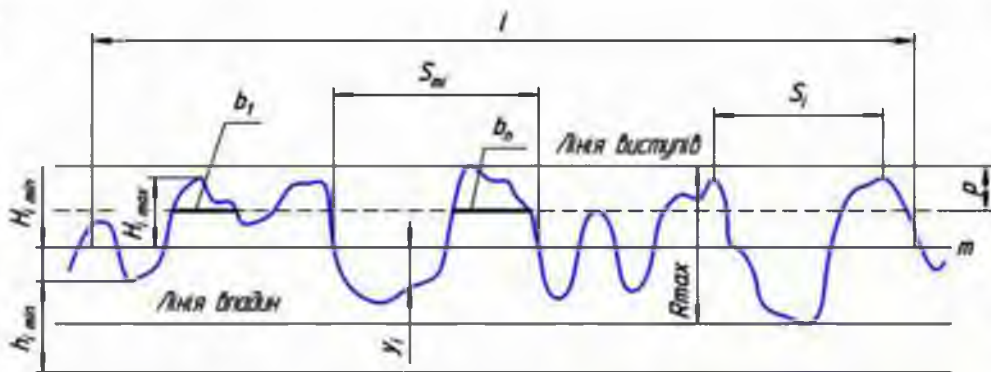
знакозмінних навантаженнях виникають субмікроскопічні тріщини, які надалі розростаються і приводять до утворення втомних тріщин і руйнування деталі. Шорсткість поверхні також впливає на корозійну стійкість деталей. Чим грубіша шорсткість, тим більше на ній западин і глибоких рисок, на дні яких збираються кородуючі речовини, і тому там корозія поверхні відбувається інтенсивніше.

Шорсткість прийнято характеризувати наступними параметрами:

висотні параметри: R_a - середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини; R_z - сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини; R_{max} - найбільша висота профілю; крокові параметри: S_m - середній крок нерівностей; S - середній крок місцевих виступів профілю; tr - відносна опорна довжина профілю, де r - значення рівня перетинів профілю з ряду 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90% (Рис. 1.) [8].

А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов и С. Н. Степанов, Шероховатость, волнистость, профиль.

Международный опыт., Н. р. к. т. н. Н. Табачниковой, Ред., Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета, 2007, р. 136. 8. Л. Й. Пвщенко, В. В. Петрикін, С. П. Дядя и Б. М. Левче. Взаємозамінність, стандартизація та метрологічне забезпечення технічних вимірювань, Запоріжжя: Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ», 2010, р. 451.



l - базова довжина; m - середня лінія профілю; S_m - середній крок нерівностей профілю; S_i - середній крок місцевих виступів профілю; $H_i \max$ - відхилення п'яти найбільших максимумів профілю; $H_i \min$ - відхилення п'яти найбільших мінімумів профілю; $h_i \max$ - відстань від найвищих точок п'яти найбільших максимумів до лінії, паралельної середньої і не перетинає профіль; $h_i \min$ - відстань від нижчих точок п'яти найбільших мінімумів до лінії, паралельної середньої і не перетинає профіль; R_{max} - найбільша

висота профілю; u_i – відхилення профілю від лінії m ; p - рівень перетину профілю; bp – довжина відрізків, що відсікаються на рівні p .

Рис. 1. 1. Нормальний профіль і параметри шорсткості поверхні.

На вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталей впливають також наступні фактори.

Вид з'єднання деталей. Для різних видів з'єднань оптимальна величина шорсткості може бути різною. Наприклад, для пар тертя з рідинним мастильним шаром оптимальна шорсткість буде меншою, ніж для пар тертя з сухим мастильним шаром.

Умови експлуатації. Для деталей, що працюють в важких умовах, наприклад, при високих температурах або високих тисках, оптимальна шорсткість буде меншою, ніж для деталей, що працюють в легких умовах.

Матеріали деталей. Для деталей з різними матеріалами оптимальна шорсткість може бути різною.

Таким чином, шорсткість поверхні є важливим фактором, що впливає на експлуатаційні властивості деталей. При проектуванні і виготовленні деталей необхідно враховувати оптимальну величину шорсткості для конкретних умов експлуатації.

Додатково до викладеного можна відзначити, що шорсткість поверхні також впливає на інші експлуатаційні властивості деталей, такі як:

Міцність. Чим гладкіша поверхня, тим більша її міцність. Це пояснюється тим, що на гладкій поверхні менше концентраторів напружень, які сприяють виникненню тріщин.

Електричні властивості. Чим гладкіша поверхня, тим менша її електропровідність. Це пояснюється тим, що на гладкій поверхні менше контактів між атомами.

Естетичний вигляд. Шорсткість поверхні впливає на естетичний вигляд деталей.

Враховуючи все це, можна сказати, що шорсткість поверхні є важливою характеристикою, яка повинна враховуватися при проектуванні і виготовленні деталей.

Шорсткість поверхні виробів може бути зменшена за допомогою таких методів як шліфування та полірування. Шліфування та полірування можуть застосовуватися як для декоративних цілей, так і для підготовки поверхні до гальванічного покриття.

Щоб одержати високу точність та якість обробленої поверхні та не знизити стійкість інструмента, не можна допускати виникнення надмірних коливань системи верстат-інструмент-заготовка, тобто процес різання має бути вібростійким. На сьогодні можна вважати встановленим, що при різанні металів спостерігаються два види коливань: вимущені і самозбудні (автоколивання).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. Технологія шліфування, полірування.

Проведення експериментів по поліпшенню поверхневих властивостей

Опис робочої установки

Дослідження процесу електролітно-плазмового полірування проводилися на спеціальній установці, яка складається з наступних основних елементів (Рис):

Робоча камера об'ємом 0,6 м³. У цій камері відбувається безпосередньо процес полірування.

Катод, який є негативно зарядженим електродом. Катод виготовлений з нержавіючої сталі AISI 304 і має площу 0,3 м²

Датчик температури електроліту, який контролює температуру електроліту в робочій камері.

Утримувач об'єктів, на якому кріпляться вироби, що підлягають поліруванню.

Електроліт, який є середовищем, в якому відбувається процес полірування.

Джерело живлення, яке забезпечує подачу електричного струму на катод.

Система управління, яка контролює роботу установки і забезпечує задану тривалість та потужність процесу полірування.

Пристрій занурення, який опускає і піднімає вироби, що підлягають поліруванню.

Система збору і передачі даних, яка реєструє параметри процесу полірування та передає їх на комп'ютер.

Катод в даній установці покриває всю внутрішню поверхню вертикальних стінок баку. Це дозволяє забезпечити рівномірне розподіл електричного поля по всій поверхні виробів, що підлягають поліруванню.

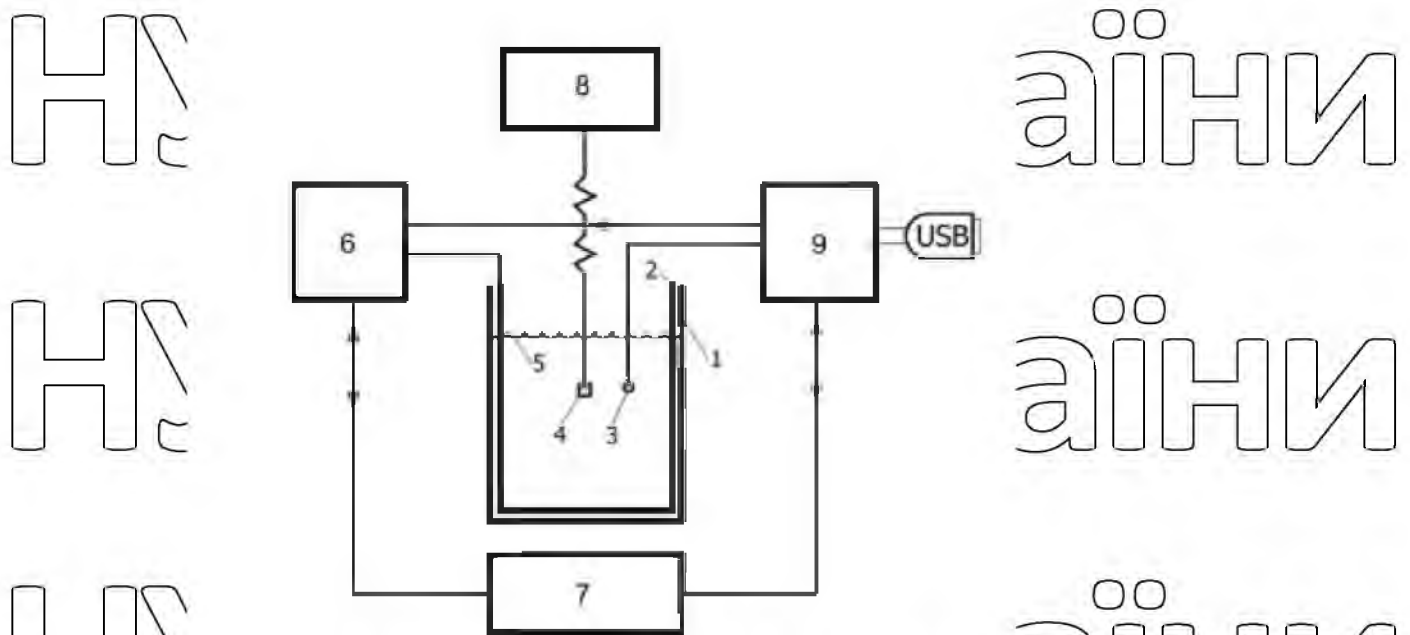


Рис. 2.1 Принципова схема установки електролітно-плазмового полірування.

Джерело живлення постійного струму для електролітно-плазмового полірування було зібране за схемою Ларіонова з керованим мостом. Це забезпечує високий коефіцієнт корисної дії і стабільний вихідний струм. Вихідний опір джерела живлення становить 0,18 Ом, що відповідає максимальній потужності 39,6 кВт. Джерело живлення забезпечує різницю потенціалів в 280 В, максимальний струм 120 А. Це дозволяє полірувати вироби з будь-яких струмопровідних матеріалів.

Пристрій занурення забезпечує рівномірне занурення об'єкту в електроліт на задану оператором глибину. Швидкість занурення становить 5 мм/с, що забезпечує рівномірний розподіл електричного поля по всій поверхні об'єкту. Точність позиціонування становить не гірше за 1 мм, що забезпечує високу якість обробки.

Система збору та обробки даних здійснює постійний контроль параметрів процесу полірування. Вимірюються струм навантаження, напруга джерела живлення і температура електроліту. Вимірювання проводяться зі швидкістю 20 вимірювань на секунду, що дозволяє відстежувати динаміку процесу і оперативно приймати рішення про

необхідність зміни режиму роботи. Відносна похибка вимірювань по струму і напрузі становить не більше 0,5%, по температурі - 1%.

Система управління отримує дані з системи збору та обробки даних і керує роботою установки. Система управління отримує керуючі команди з комп'ютера і забезпечує роботу всього пристрою відповідно до заданої програми.

Процеси які виконуються при електролітно-плазмовому подіюванні металів.

В якості об'єктів дослідження використовувалися вставки для різців зі швидкорізальної сталі та прошивка для прямокутних отворів також зі швидкорізальної сталі P18, (18 % вольфраму) (Рис.зразки). Такий розмір зразків був обраний з міркувань мінімізації крайових ефектів на стан поверхні при електролітно-плазмовій обробці. Поверхня об'єктів містила сліди природної патини та незначні механічні пошкодження, які утворилися під час транспортування і зберігання мідних листів. Розподіл ушкоджень, їх характер і присутність забруднень на поверхні були рівномірними, отже, попередній стан поверхні об'єктів перед електролітно-плазмовою обробкою можна вважати ідентичним для усіх зразків. Перед зануренням в електроліт

об'єкти не піддавалися попередній обробці. У всіх експериментах об'єкти занурювалися на глибину 25 мм. В якості електроліту в наших експериментах використовувався розчин сульфату амонію з додаванням сірчаної кислоти. Вміст сульфату амонію в розчині становив 4%, сірчаної кислоти 1%. Концентрація компонентів вказана в масових відсотках. Як

показали попередні експерименти, метою яких було встановлення мінімальних можливих концентрацій компонентів, найбільш оптимальним з точки зору процесу електролітно-плазмового подіювання виявився розчин сульфату амонію 4% та сірчаної кислоти 1%. В процесі електролітно-плазмової обробки відбувається нагрів електроліту.

РОЗДІЛ 5 Визначення впливу шорсткості на силу, як наслідок, роботи та потужність різання.

Для замірів шорсткості зразків використовувався кишеньковий тестер шорсткості поверхні TIME TR110 (див. Рис.2.2). Тестер широко використовується для вимірювання шорсткості поверхні різних металів і неметалів. Інтегрована структура датчика та основного корпусу, а також ручна конструкція роблять його придатним для використання на виробничих майданчиках.

Принцип роботи. Коли датчик здійснює лінійний рівномірний рух уздовж тестової поверхні, стилус, який торкається робочої поверхні, рухається вгору та вниз уздовж робочої поверхні перпендикулярно. Його рух перетворюється на електричні сигнали, які посилюються, фільтруються та перетворюються на цифрові сигнали за допомогою АЦП. Потім сигнали обробляються центральним процесором у значення R_a та R_z перед вображенням на екрані.



Standard sample plate 1

Main unit 1

Li-ion rechargeable Battery 1

Рис. Загальний вигляд приладу прилад - «Тестер шорсткості поверхні TR110».

НУВІП Україна

Технічні параметри та функції

Основні технічні параметри:

- Параметри (мкм): Ra, Rz
- Довжина ходу (мм): 6
- Довжина вибірки (мм): 0,25, 0,80 і 2,5
- Довжина оцінки (мм): 1,25, 4,0 і 5,0
- Діапазон вимірювання (мкм): Ra: 0,05--10,0 Rz: 0,1--50

НУВІП Україна

- Похибка відображення: $\pm 15\%$
- Повторюваність відображуваного значення: $< 12\%$
- Ігла: алмазний наконечник

НУВІП Україна

- Радіус: $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$

НУВІП Україна

• Кут алмазного наконечника: Стационарна сила вимірювання та її варіанти стилуса:

- Стационарна сила вимірювання: $\leq 0,016 \text{ Н}$
- Варіація вимірювальної сили: $\leq 800 \text{ Н/м}$

НУВІП Україна

- Тиск датчика, що залежить від ковзання: $\leq 0,5 \text{ Н}$

- Живлення: літій-іонний акумулятор 3,6 В
- Зарядний пристрій: 6 В достійного струму, з 3-годинним часом підзарядки.

- Габаритні розміри: $110 \text{ мм} \times 70 \text{ мм} \times 24 \text{ мм}$ Вага: 160 г

НУВІП Україна

Основні функції

- Параметри вимірювання, які можна вибрати: Ra, Rz
- Додаткова довжина вибірки Функція калібрування

- Автоматичне тестування напруги батареї та звукового сигналу

НУВІП Україна

- Функція підзарядки батареї, працездатна під час підзарядки.

Операційне середовище

- Умови експлуатації

Температура: 0 ~ 40 °С

Відносна вологість: < 80%

Без вібрації: відсутність корозійних середовищ

• Умови зберігання

Температура: - 25 ~ 60 °С

Відносна вологість: < 90% 19

Вентиляція: Ступінь 3

Термінологія та параметри шорсткості поверхні

Шорсткість поверхні – це мікрокосмічна геометрична форма на поверхні заготовки, що складається з вершини та впадини з невеликими проміжками.

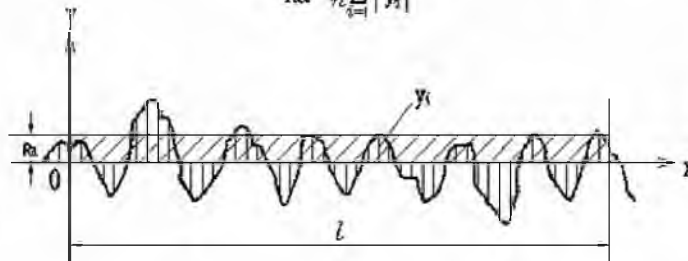
Довжина вибірки – це довжина еталонного зразка, яка використовується для визначення шорсткості поверхні.

Довжина оцінки – це необхідна довжина для оцінки профілю шорсткості.

Він може включати одну або більше довжин вибірки.

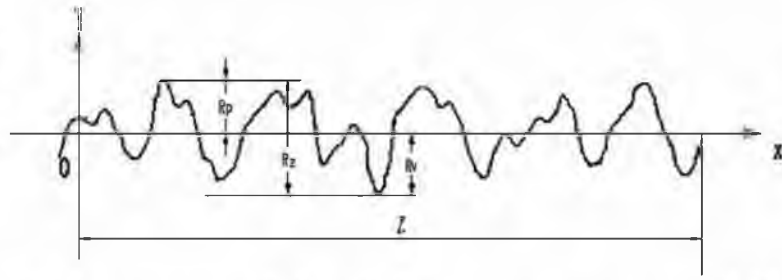
Ra: Середнє арифметичне відхилення профілю – це середнє арифметичне значення відхилення профілю в межах довжини вибірки.

$$Ra = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i|$$



Rz: максимальна висота нерівностей – це відстань між максимальною глибиною піків профілю та максимальною глибиною западини профілю в межах довжини вибірки.

НУЕ



НИ

НУБІП України

Таблиця рекомендованої довжини вибірки

Ra (µm)	Rz (µm)	Sampling Length (mm)
>40 ~80	>160 ~320	8
>20 ~40	>80 ~160	
>10 ~20	>40 ~80	
>5 ~10	>20 ~40	2.5
>2.5 ~5	>10 ~20	
>1.25 ~2.5	>6.3 ~10	0.8
>0.63 ~1.25	>3.2 ~6.3	
>0.32 ~0.63	>1.6 ~3.2	
>0.25 ~0.32	>1.25 ~1.6	0.25
>0.20 ~0.25	>1.0 ~1.25	
>0.16 ~0.20	>0.8 ~1.0	
>0.125 ~0.16	>0.63 ~0.8	
>0.1 ~0.125	>0.5 ~0.63	
>0.08 ~0.1	>0.4 ~0.5	

НЗ

НЗ

И

И

>0.063 ~0.08	>0.32 ~0.4	
>0.05 ~0.063	>0.25 ~0.32	
>0.04 ~0.05	>0.2 ~0.25	
>0.032 ~0.04	>0.16 ~0.2	
>0.025 ~0.032	>0.125 ~0.16	
>0.02 ~0.025	>0.1 ~0.125	
>0.016 ~0.02	>0.08 ~0.1	0.08
>0.0125 ~0.016	>0.063 ~0.08	
>0.01 ~0.0125	>0.05 ~0.062	
>0.008 ~0.01	>0.04 ~0.05	
>0.0063 ~0.008	>0.032 ~0.004	
≤0.063	≤0.032	

НЗ

НЗ

И

И

НУБІП України

РОЗДІЛ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Загальновідомо, що з параметрів режиму різання на процес різання найбільше впливає швидкість різання v , подача s і глибина різання t . Крім цього, інтенсивність впливу падає зі збільшенням цих параметрів різання.

Така закономірність інтенсивного впливу швидкості різання на температуру пояснюється, в першу чергу, збільшенням сил тертя в зоні різання, які визначаються, відповідно до робочої гіпотези, двома основними параметрами: шорсткістю поверхонь інструменту та зусиллями, що виникають в процесі різання [7, 8].

В ході досліджень нами визначався вплив шорсткості поверхонь інструменту на зусилля, що виникають в зоні різання. Нами використовувався силовимірвальний комплекс з універсальним динамометром (УДМ).

Математична обробка результатів проводилась методом побудови графічних логарифмічних залежностей.

Швидкість головного руху v – лінійна швидкість розглядуваної точки різальної кромки інструмента, чи заготовки в головному русі різання.

Швидкість головного руху найчастіше називають швидкістю різання. Для головного обертального руху швидкість різання дорівнює: $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$, м/с

де: $\omega = \omega \cdot v =$ де: ω – кутова швидкість заготовки чи інструмента, рад/с, D – діаметр взаємодії, мм (приймається найбільший діаметр зовнішньої

оброблюваної поверхні, або внутрішньої обробленої поверхні). Якщо задана частота обертання, то швидкість різання розраховується за формулою: де: n – частота обертання заготовки, чи інструмента, кв-1

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв}$$

Швидкість головного руху v – лінійна швидкість розглядуваної точки різальної кромки інструмента, чи заготовки в головному русі різання.

Швидкість головного руху найчастіше називають швидкістю різання. Для головного обертального руху швидкість різання дорівнює: $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$, м/с

$R_{\phi} = \phi \cdot v$ – де: ϕ – кутова швидкість заготовки чи інструмента, рад/с; D – діаметр взаємодії, мм (приймається найбільший діаметр зовнішньої оброблюваної поверхні, або внутрішньої обробленої поверхні). Якщо задана частота обертання, то швидкість різання розраховується за формулою: де: n

– частота обертання заготовки, чи інструмента, хв-1

В дослідженнях використовувалися заготовки різного діаметру, тому для них були розраховані по формулі вище такі значення швидкостей:

- для заготовки діаметром 50 мм зі сталі 20 $v = 49$ м/хв;

- для заготовки діаметром 100 мм зі сталі 45 $v = 99$ м/хв.

Для отримання інструменту поверхні, якого мали б різну ступінь шорсткості проводилось шліфування різців по передній і задній поверхням, абразивом з різною зернистістю.

Діапазон зміни шорсткості R_a оброблених поверхонь змінювався від 2,5 мкм до 0,16 мкм, від обдирочного і чорнового шліфування до фінішного. Для забезпечення відповідних показників шорсткості застосовувався абразивний інструмент з відповідним розміром зерен.

В таблицях 3.1, 3.2, 3.3 наведені види шліфування, зернистість абразивного інструменту, а також, відповідно до цих параметрів, отримана шорсткість оброблених поверхонь інструменту.

З метою встановлення закономірностей впливу шорсткості поверхонь інструменту на динамічні характеристики процесу різання були вибрані зразки пластин для токарного різця, які були оброблені різними методами фінішних технологій. Після обдирочного шліфування зі зернистістю абразиву 63H отримали шорсткість поверхні R_a 1,75. Після чистового шліфування і доведення кругом зернистістю 12H отримали шорсткість 0,32.

Шліфування проводилось на плоскошліфувальному верстаті, оброблялись пластини по передній поверхні з закріпленням на магнітній плиті стола верстату, а по задній поверхні в спеціальних лещатах закріплених також на магнітній плиті, що мають поворотні пластини під

кутами в двох площинах. Передній кут встановлювався в межах 3-5 градусів, задній кут – для забезпечення мінімального тертя інструменту по обробленій поверхні заготовки був вибраний в межах 10 градусів, тому що дослідження проводились на заготовках зі сталі 20 та сталі 45.

Процес електролітичного полірування проводився згідно технології описаної вище.

Найнижча шорсткість поверхні отримували після полірування в якості полірувальної речовини використовували оксид хрому, 1,3 мкм. Отримали шорсткість 0,032

Полірування проводилось після операцій чистового шліфування. При цьому геометрія інструменту не змінювалась.

Оскільки метою роботи було визначення впливу параметрів шорсткості інструменту на зусилля взаємодії між різцем і заготовкою, і як наслідок, на роботу і потужність різання. Нами були проведені дослідження визначення вертикальної складової сили різання F_z при змінних глибинах різання та подачі. Глибина різання змінювалась в інтервалі від 0,1-0,2 мм (що характерно для чистової обробки), до максимальної глибини 2,0мм (чорнова обробка). При цьому зусилля різання змінювались в діапазоні від 12 до 500

N. Серії дослідів проводились для пластин швидкорізальної сталі з різними ступенями шорсткості при незмінних режимах, що дає можливість відсіяти додаткові фактори впливу на чистоту експерименту.

Результати проведених досліджень пластин після шліфування зведені в таблицях 3.1-3.3. В даних таблицях наведені дані після точіння пластинами з мінімальною шорсткістю, отриманою в процесах після полірування.

Для забезпечення достовірності отриманих результатів проведені дослідження проводились з різними швидкостями на діаметрах заготовки 50 і 100 мм. В таблицях 3.1, 3.2 наведені результати для діаметру 50 мм, а в таблиці 3.3 – 100 мм.

Відповідність шорсткості обробленої поверхні від виду фінішної обробки інструменту при діаметрі заготовки 50 мм

Таблиця 3.1

Вид фінішної обробки	Шорсткість поверхні $R_a, \mu\text{m}$	Зусилля різання P_z, H									Позначення зернистості, відповідно до ГОСТ 3647-71
		Глибина різання t, mm									
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,0	1,4	1,8	2,0		
Шліфування обдирочне	1,75	32	60	110	210	260	340	470	500	63H	
Шліфування	0,8	27	50	90	175	200	280	360	380	45H	
Шліфування чистове (доведення)	0,32	16	30	55	105	130	165	210	245	12H	

Відповідність шорсткості обробленої поверхні від виду фінішної обробки інструменту при діаметрі заготовки 50 мм

Таблиця 3.2

Вид фінішної обробки	Шорсткість поверхні $R_a, \mu\text{m}$	Зусилля різання P_z, H									Позначення зернистості, відповідно до ГОСТ 3647-71
		Глибина різання t, mm									
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,0	1,4	1,8	2,0		
Полірування пастою ГОІ	0,032	-	15	32	68	85	115	175	190	MI..3	
Електролітичне полірування	0,12	12	22	42	81	100	135	185	200	-	

Відповідність шорсткості обробленої поверхні від виду фінішної обробки інструменту Діаметр заготовки 100 мм

Таблиця 3.3

Вид фінішної обробки	Шорсткість поверхні R_a , мкм	Зусилля різання P_z , Н								
		Глибина різання t , мм								
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,0	1,4	1,8	2,0	
Шліфування чистове	0,32	72	110	155	280	305	350	475	485	
Полірування пастою ГОІ	0,032	28	40	58	83	92	105	135	145	
Електролітичне полірування	0,12	39	55	76	105	120	140	160	175	

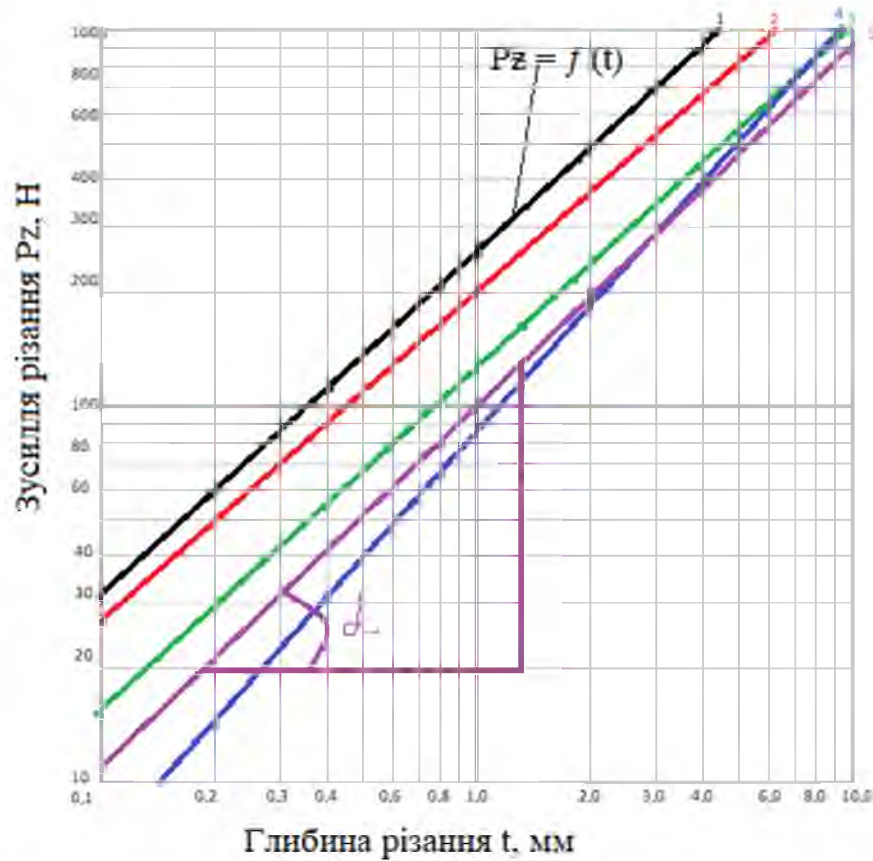
Для складнопрофільного інструменту досить складним є проведення таких фінішних операцій як полірування, що по передній і задній поверхні. Крім того, що це досить важко технологічно, тому що доступ до передніх поверхонь ускладнений. Підвищення шорсткості на поверхнях прошивки (Рис) було забезпечено операцією електролітичного полірування за технологією електро-плазмування. Отримали шорсткість поверхні, яка відповідає R_a , 0,18 Н.

Для визначення ступеня впливу якості обробленої поверхні на динаміку процесу різання були побудовані графічні залежності зусиль різання від режиму обробки та геометричних параметрів інструменту в логарифмічних координатах. Тому, що криві першого порядку дають можливість визначати показники степеню безпосередньо з графіків в логарифмічних координатах.

НУ

НУ

НУ



ИИ

ИИ

ИИ

НУБІП України

1 Шліфування обдирочне

2 Шліфування

3 Шліфування чистове

4 Полірування пастою ГОІ

5 Електролітичне полірування

НУБІП України

Рис. 3.1 Графічна залежність сили різання при точінні від глибини різання для заготовки діаметром 50 мм при різних видах фінішної обробки

побудована в логарифмічних координатах

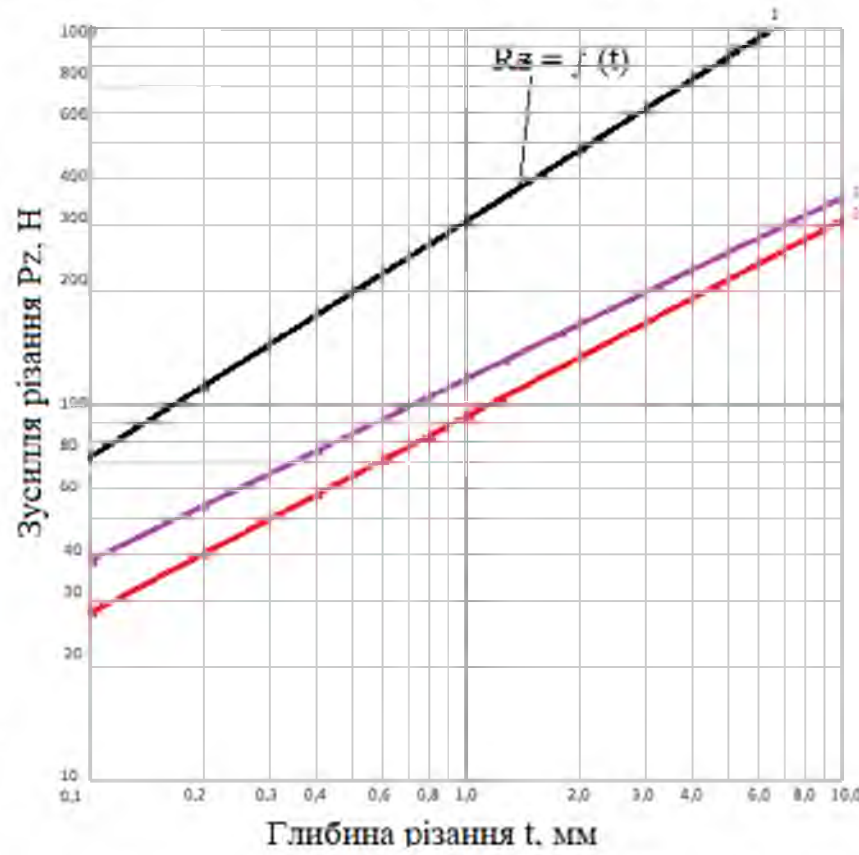
НУБІП України

На рисунку № графічна залежність зміни сили різання від глибини різання, різні прями описують закономірності зміни функції для різців з різною ступеню шорсткості, отриманих після різних технологічних процесів.

НУБІП України

Аналіз побудованих залежностей демонструє, що збільшення динамічних характеристик безпосередньо залежить від шорсткості оброблених поверхонь. Тобто, чим вища шорсткість, тим вище і зусилля

різання. Це пояснюється збільшенням тертя при збільшенні шорсткості спражених поверхонь.



- 1 Шліфування чистове
- 2 Полірування пастою ГОІ
- 3 Електролітичне полірування

Рис. 3.2 Графічна залежність сили різання при точній відглибині різання для заготовки діаметром 100 мм при різних видах фінішної обробки побудована в логарифмічних координатах

Побудовані функціональні залежності в логарифмічних координатах дозволили визначити ступінь впливу шорсткості на зусилля різання при різних глибинах різання. При мінімальних шорсткостях показник степеню знаходився в межах 0,85...1, що відповідає теоретичним даним. З підвищенням шорсткості цей показник знизився до 0,75...0,85. При збільшенні діаметра заготовки, і як наслідок збільшення швидкості, показник

ступеню при функції, яка описує силу різання змінився не значно, став в межах 0,65...0,7

Для вирішення в роботі головного завдання була побудована графічна залежність сил різання від шорсткості обробленої поверхні, яка характеризує зміну динамічних характеристик процесу різання залежно від технології фінішних операцій обробки поверхонь інструменту

Дані зміни сили різання від шорсткості наведені в табл. для чорнкової та чистої обробки при різних глибинах різання наведено в наступних таблицях (табл. 3.4 та табл. 3.5).

Залежність сили різання при точінні від шорсткості при різних глибинах різання для заготовки діаметром 50 мм при різних видах фінішної обробки

Таблиця 3.4

Вид обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм				
	0,032	0,12	0,32	0,8	1,75
	Зусилля різання Pz, Н				
Чистове точіння (глибина 0,2 мм)	15	22	30	50	60
Чорнове точіння (глибина 2,0 мм)	190	200	245	380	500

Залежність сили різання при точінні від шорсткості при різних глибинах різання для заготовки діаметром 100 мм при різних видах фінішної обробки

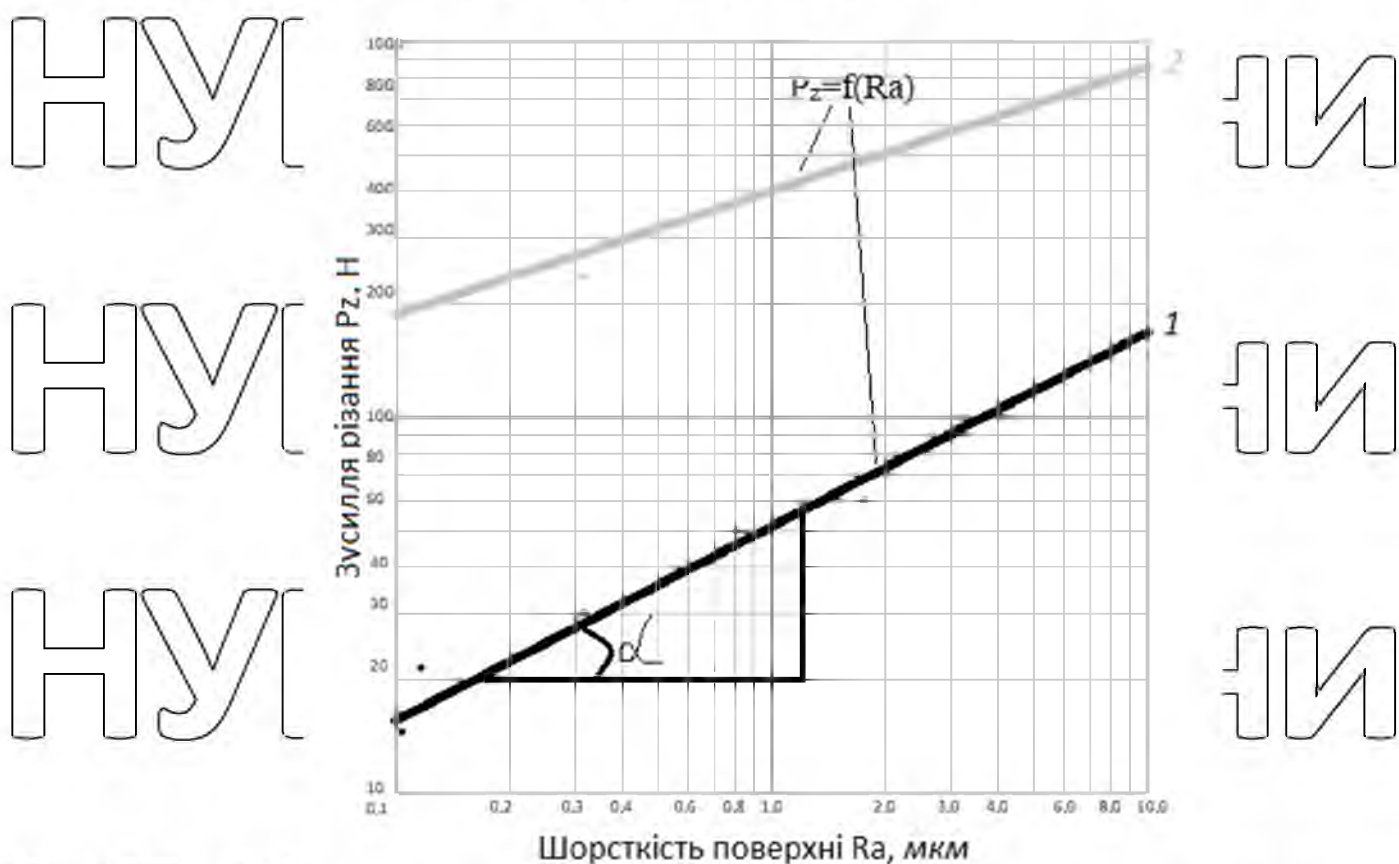
Таблиця 3.5

Вид обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм		
	0,032	0,12	0,32
	Зусилля різання Pz, Н		

Чистове точіння (глибина 0,2 мм)	40	55	110
	145	175	285
Чорнове точіння (глибина 2,0 мм)			

НУБІП УКРАЇНИ

За результатами, що отримали в процесі дослідження впливу шорсткості на динамічні характеристики процесу були побудовані графічні залежності, які показані на рисках № (3 табл 11 і 12).



- 1 - Чистове точіння (глибина 0,2 мм)
- 2 - Чорнове точіння (глибина 2,0 мм)

Рис. 3. Графічна залежність сили різання при точінні від шорсткості поверхні інструменту побудована в логарифмічних координатах

НУБІП УКРАЇНИ

НУУ

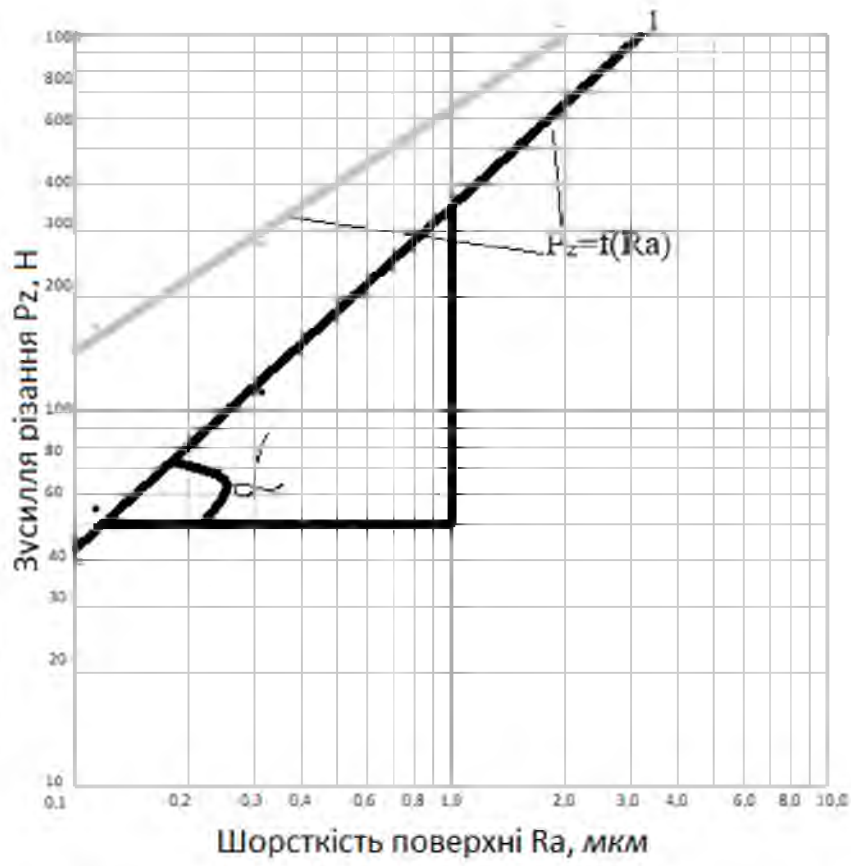
НУУ

НУУ

ИИ

ИИ

ИИ



1 - Чистове точіння (глибина 0,2 мм)
 2 - Чорнове точіння (глибина 2,0 мм)

Рис. 3. Графічна залежність сили різання при точінні від шорсткості поверхні інструменту побудована в логарифмічних координатах

НУБІП України

Функціональні залежності побудовані аналогічно до попередніх досліджень в логарифмічних координатах. Це дало нам можливість

виконати основне завдання нашої роботи, тобто довести, що змінна шорсткості поверхонь інструменту впливає на динаміку процесу різання. Тому, що змінюються сили тертя.

НУБІП України

Для визначення ступеню впливу зазначених характеристик шорсткості був проведений аналіз графічних залежностей. Наведено на рис № (3 табл. 11 і 12).

Визначено, що показник степеню складає (Визначити середній для двох графіків)

НУБІП України

При мінімальних шорсткостях показник степеню знаходився в межах 0,85...1, що відповідає теоретичним даним. З підвищенням шорсткості цей показник знизився до 0,75...0,85. При збільшенні діаметра заготовки, і як наслідок збільшення швидкості, показник степеню при функції, яка описує силу різання змінився не значно, став в межах 0,65...0,7.

Проведені дослідження дали можливість уточнення формули, що застосовується в теорії різання для визначення зусиль різання і оброблюваності конструкційних матеріалів.

Класична формула:

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot v^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}$$

В класичній формулі відомі коефіцієнт K_{P_z} враховує умови обробки різанням, що не стосується складових режиму, тобто наявність охолоджуючих середовищ, геометрії інструменту та інших факторів.

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot v^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}$$

На основі результатів отриманими в нашій роботі, нам вдалося уточнити класичну формулу сили різання введенням в неї додаткового параметру, який описує шорсткість оброблених поверхонь інструменту. Крім того визначено ступінь впливу цього параметру на динаміку процесу.

НУБІП України

ВИСНОВКИ.

1. Особливо важливо, що в роботі доведено можливість зниження динамічних характеристик процесу різання- сил, роботи, потужності за рахунок зниження шорсткості оброблених поверхонь шляхом застосування фінішних методів обробки.

НУБІП України

2. Застосування саме електролітичного полірування для обробки як передніх так і задніх поверхонь інструмент особливо має перспективи для багатолезового складнопрофільного інструменту, що використовується для чистової обробки деталей.

НУБІП України

3. Підвищені якості оброблених поверхонь інструменту дає можливість зниження шорсткості і поверхні обробленого матеріалу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ НА ВЕРСТАТАХ

Під час роботи на верстатах найбільші загрози травмам включають удари обертовими частинами верстата або фрезою, можливість ураження очей відлітаючою стружкою, потрапляння пилу в очі, удари від падаючих вантажів, намотування на обертові деталі, взаємодію з обертаючимися деталями, яка може спричинити затягування залишених рештками одягу або волосся, а також можливість ураження електричним струмом та травми від ударів інструментом чи деталлю.

Верстати монтуються на міцному фундаменті. Важливо, щоб висота верстата була зручною для працюючого, уникнути надмірного нахилення, що може призвести до втоми. Для додаткової безпеки під ногами працівника розташовується дерев'яна решітка вздовж верстата, захищаючи від електричного ураження, порізів і холоду. Висота решітки може бути налаштована для зручного розташування тіла відносно верстата.

Органи керування верстатом (при роботі у стоячому положенні) повинні знаходитися на висоті від 500 мм до 1700 мм. Важливо заземлити верстат і обладнати його захисними огорожами для захисту від стружки і мастильно-охолоджувальної рідини. Закріплення захисних пристроїв повинно бути надійним, щоб уникнути самовідкриття.

Зусилля на рукоятках та важелях (маховічках) органів керування при постійному ручному управлінні повинні залишатися в межах 40 Н, а при переміщенні задньої бабки в момент рушання - 320 Н. Час зупинки шпинделя з патроном (без закріпленої заготовки) після виключення не повинен перевищувати 5 секунд, у свердильних верстатах - 3 секунди, в універсально-фрезерних - 5 секунд. Верстати також оснащують місцевим низьковольтним освітленням напругою не більше 42 В.

При роботі на верстатах слід утримувати голову далеко від патрона та робочого інструменту, уникати передачі чи прийому предметів через обертові частини, не підтримуватися верстатом, не вимірювати деталі на працюючому верстаті, не зупиняти його, пригнічуючи патрон рукою або

інструментом, уникати виходу довгої стружки, а також уникати розташування заготовок та інструментів на верстаті. Для прибирання стружки слід використовувати спеціальні щітки або гачки з дерев'яною рукояткою.

При відключенні електроенергії слід додатково вимкнути верстат за допомогою пускової кнопки, щоб уникнути його непередбаченого включення при відновленні електропостачання. Учні заборонено відсікати огорожі, видаляти запобіжні пристрої чи захисні кожухи, відкривати електрошафи або вмикали.

Обладнання та верстати в майстернях повинні відповідати стандартам з охорони праці. Кожен верстат має бути позначений інвентарним номером. Біля верстата або групи верстатів повинен бути список працівників, які мають право працювати на них. Також повинна бути табличка із зазначенням посадової особи, відповідальної за утримання верстатного обладнання та безпечну експлуатацію. На робочому місці біля верстата повинна бути інструкція з охорони праці, що містить вимоги до безпечного виконання робіт. Органи керування обладнанням повинні бути чітко позначені.

Струмopовідні частини обладнання мають бути ізольованими, обгородженими або розташованими в недоступних місцях. Металеві частини, які можуть потрапити під напругу, повинні бути заземлені.

Штепсельні розетки та вилки повинні відповідати напрузі мережі.

Забороняється використовувати рубильники відкритого типу.

Під час ремонту та заміни робочих органів верстата мають бути вимкнуті. Вимикач ручної дії повинен бути розташований у зручному та безпечному місці для обслуговування та можливості вимкнення верстата у випадках, таких як відключення електроенергії, перерва в роботі або аварійна ситуація.

Стационарні верстати слід установлювати на міцних фундаментах та перевіряти на міцність та надійність. Нове обладнання або обладнання після

ремонту повинно бути введено в роботу лише після прийняття його комісією та складання відповідного акту.

Під час виконання робіт в майстернях важливо дотримуватися чистоти та не захаращувати робоче місце. Верстатнику слід перебувати на гратчастому настилі.

У металообробних верстатах, які призначені для обробки заготовок діаметром до 500 мм (універсальні токарні і токарно-револьверні) та до 630 мм (верстати для обробки), час зупинки шпинделя з патроном (без закріпленої заготовки) після виключення не повинен перевищувати 5 с і 10 с

відповідно. Для свердлильних верстатів цей час не повинен перевищувати 3 с, для розточних - 6 с, для універсально-фрезерних - 5 с.

У зубообробних верстатах (автоматичне вимкнення руху інструменту та елементів кінематичного ланцюга після обробки заготовки має відбуватися за час не більше: для зубошевінговальних, зубохонінгувальних і зубонакатних верстатів - 5 с; для зубошліфувальних верстатів з конусним, профільним, абразивним кругом - 30 с; для зубошліфувальних верстатів з черв'ячним кругом - 40 с.

Складальні одиниці і деталі масою більше 16 кг повинні мати спеціальні пристрої такі як припливи, отвори, рим-болти і т.д. Призначені для безпечного підйому та переміщення під час монтажу, демонтажу та ремонту обладнання.

На верстатах або автоматичних лініях для установки заготовок масою більше 8 кг, а також інструментів та пристосувань масою більше 20 кг, встановлюють підйомні пристрої індивідуального типу. Ці підйомні пристрої повинні утримувати вантаж у будь-якому положенні, навіть у разі несподіваного відключення електроенергії, масла або повітря. Для установки заготовок масою більше 250 кг рекомендується використовувати внутріцехові підйомні засоби.

Для певних верстатів встановлені додаткові вимоги безпеки згідно зі стандартами.

У випадку токарних верстатів, товщина матеріалу захисного пристрою повинна збільшуватися не менше ніж у два рази при обробці заготовок із швидкістю різання більше 5 м/с. Оглядові вікна в захисних пристроях (екранах) мають бути виготовлені з прозорого спеціального матеріалу в кілька шарів загальною товщиною не менше 10 мм.

Для пруткових токарних автоматів і револьверних верстатів, оснащених прутками, обов'язково вздовж усієї довжини прутків повинні бути встановлені огороження, обладнані шумопоглинаючими пристроями.

У поздовжньо-стругальних верстатах повинні бути гальмові й пружно-обмежувальні пристрої, які запобігають небезпеці при викиді столу, якщо він виходить із зачеплення з приводним елементом.

В абразивно-відрізних верстатах необхідно передбачати можливість приєднання індивідуальних відсмоктуючих пристроїв для видалення продуктів різання з робочої зони.

Шліфувальні верстати повинні мати підвищену надійність кріплення захисного кожуха, що забезпечує його утримання на місці в разі розриву шліфувального круга. Круглошліфувальні верстати, що працюють зі швидкістю круга 60 м/с і вище, повинні мати зону обробки (звернену до працівника), повністю закриту захисним пристроєм, який відповідає вимогам до швидкості різання.

Стрічкові пилки, призначені для різання металу, обладнують огороженням так, щоб відкритою залишалася лише робоча частина пилки.

Це огороження охоплює шків, через які проходить стрічка, і забезпечує додатковий захист шківів з бічних сторін.

У верстатах стругального типу зони руху столу або повзуна, які виходять за габарити верстата, обов'язково огорожуються. Огороження може приймати форму бар'єру або іншого пристрою, що перегороджує доступ працівників в цю зону.

Швидкохідні поздовжньо-стругальні верстати обов'язково оснащені гальмуючими та обмежуючими рух столу пристроями для запобігання

викиду столу (платформи) при його виході з зачеплення. Механізми подачі, реверсивний механізм для зміни напрямку ходу, проміжки між стійками і столом захищаються щитами.

При використанні гільйотинних ножиць для різання листового металу враховується можливість потрапляння рук робітника між ріжучими кромками. Щоб уникнути цього ризику, нижню кромку ножиць жорстко з'єднують із столом і нерухомою запобіжною лінійкою, що перешкоджає проникненню пальців під ніж, а також використовують притискний пристрій. Конструкція ножиць гарантує відсутність можливості самовільного опускання верхнього ножа.

При різанні заготовок на стрічкових і круглих пилах важливо використовувати спеціальні пристосування, які ефективно усувають можливість ушкодження пальців робітника.

На верстатах свердлильного типу оброблювані вироби стабільно закріплюються в лещатах, кондукторах та інших пристосуваннях, які надійно утримуються на столі або плиті верстата. Механізм кріплення патронів повинен забезпечувати надійний затиск та точне центрування інструменту.

Автоматична лінія для механічної обробки виробів складається з взаємопов'язаних верстатів-автоматів, які працюють автономно для виготовлення окремих деталей та обробки виробів.

Управління автоматичною лінією здійснюється з центрального пульта, який забезпечує ефективну роботу у налагоджувальному і автоматичному режимах. Важливо, щоб система автоматичного управління виключала можливість самопереключення лінії з налагоджувального режиму на автоматичний. Під час налагодження всі верстати і агрегати автоматичної лінії повинні мати окремі органи управління для їх запуску і зупинки.

Обов'язковим є наявність сигнальних пристроїв, які інформують про включення лінії в налагоджувальний або автоматичний режим.

Всі верстати і агрегати автоматичної лінії повинні діяти відповідно до технологічного процесу, як на автоматичному, так і на налагоджувальному режимах, для уникнення аварій, і повинні бути оснащені функціональною системою блокування для дотримання цієї послідовності.

Рухомі частини верстатів, агрегатів та інших пристроїв автоматичної лінії, а також інструмент і оброблюваний виріб, обладнуються надійними кожухами, що виключають доступ робітника до небезпечної зони під час функціонування лінії.

Автоматичне видалення стружки від місця утворення її за межами автоматичної лінії реалізується шляхом застосування автоматичних засобів, таких як змивання рідиною, використання скребкових конвеєрів, вакуумних пристроїв і подібних.

Контроль якості виробів під час автоматичної роботи лінії повинен проводитися виключно за допомогою вбудованих контрольних приладів на самій лінії.

Токарні верстати

Токарні верстати - це один з найпоширеніших видів металообробного обладнання. Вони використовуються для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей, а також для нарізування різьблення.

Робота на токарних верстатах пов'язана з підвищеною небезпечкою, тому необхідно строго дотримуватися правил техніки безпеки.

Перед тим як розпочати роботу, необхідно виконати декілька процедур для забезпечення безпеки та правильності виконання завдань. Спочатку слід належним чином вдягнутися, застебнути або обв'язати рукави, та заправити халат чи комбінезон, уникнувши розпадання решти одягу. Неналежно застебнутий одяг може стати причиною травм. Важливо переконатися, що верстат у належному стані, провівши огляд огорожі зубчастих коліс, приводних ременів і гітар верстата. Також потрібно перевірити стан іншого обладнання, включаючи електричні та механічні компоненти.

Світлове освітлення слід налаштувати так, щоб не сліпити очі, а перевірку верстата провести на холостому ході, впевнившись в працездатності кнопок "пуск" і "стоп", а також інших систем, таких як гальма, системи змащення і охолодження.

Працювати на несправному верстаті небезпечно, тому всі виявлені несправності слід повідомити майстру або черговому слюсарю (електрику) і усунути до початку роботи.

Додатково слід забезпечити чистоту робочого місця, прибрати зайві предмети, оглянути та підготувати пристосування та інструменти, забезпечити правильне розташування тари для заготовок і деталей, і перевірити стан підніжних дерев'яних ґрат. Загальний порядок на робочому місці гарантує безпеку праці.

Загальні правила безпеки

Перед початком роботи необхідно ознайомитися з інструкцією з експлуатації верстата і дотримуватися всіх правил техніки безпеки.

Необхідно надіти спецодяг і спецвзуття, що відповідає вимогам охорони праці.

Волосся необхідно зібрати під головний убір.

Не можна працювати на верстаті в рукавицях і окулярах без захисних лінзах.

Не можна працювати на верстаті в нетверезому стані.

Безпека перед початком роботи

Перевірте стан верстата, чи немає на ньому пошкоджень.

Перевірте справність захисних пристроїв.

Зіставте розміри заготовки з розмірами робочої зони верстата.

Переконайтесь, що заготовка надійно зафіксована.

Безпека під час роботи

Не залишайте верстат без нагляду, навіть якщо він працює на малій швидкості.

Не робіть різких рухів руками і не залишайте їх у зоні дії різального інструменту.

Не працюйте на верстаті при несправних захисних пристроях.

Не працюйте на верстаті з пошкодженим різальним інструментом.

Безпека після закінчення роботи

Вимкніть верстат і від'єднайте його від електромережі.

Зніміть заготовку з верстата.

Проведіть огляд верстата і очистіть його від стружки.

Додаткові правила безпеки

При роботі з довгими заготовками необхідно використовувати спеціальні підпори.

При роботі з важкими заготовками необхідно використовувати вантажопідйомні механізми.

При роботі з заготовками, які мають гострі кромки, необхідно використовувати захисні рукавички.

Пожежна безпека

Не допускайте потрапляння на верстат мастильних матеріалів і стружки.

Не залишайте на верстаті ганчірки або інші горючі матеріали.

У разі пожежі необхідно негайно повідомити про це керівника і приступити до її гасіння.

Особливості техніки безпеки при роботі на токарних верстатах з ЧПУ

Перед початком роботи необхідно вивчити програму обробки.

Перевірте справність системи безпеки.

Не робіть різких рухів руками в зоні дії різального інструменту.

Не залишайте верстат без нагляду, навіть якщо він працює на малій швидкості.

Покарання за порушення правил техніки безпеки

За порушення правил техніки безпеки при роботі на токарних верстатах працівники можуть бути притягнуті до дисциплінарної, адміністративної або кримінальної відповідальності.

Неухильне дотримання правил техніки безпеки допоможе вам уникнути травм і нещасних випадків.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУВІП України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поверхностная прочность материалов при трении // Под ред. Б.И. Костецкого.

Киев: Техніка, 1976., -292 с.

2. Таланов Н.В. физические основы процесса резания // Физические процессы при резании металлов. Волгоград. Узд. ВПИ, 1978. – С 3-37.

3. Армарево И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием.

М.:Машиностроение, 1977 – 325 с.

4. Максименко О.П. Основи трибології: Навч. посібник / О.П. Максименко, О.Є. Лейко – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2005. – 192 с.

5. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский,

М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

6. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985.

– 424 с.

7. Максименко О.П. Теорія і практика змащування металургійних машин:

Навч. посібник / О.П. Максименко, В.В. Перемітько, В.М. Самохвал. –

Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 224 с.

8. Камель Г.І. Дослідження конічних трибо сполучень у промисловому транспорті: монографія / Г.І. Камель, В.В. Перемітько, А.В. Ершов,

Р.А. Куліковський. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. – 313 с.

9. Чернець М.В. Дослідження механізмів та триботехнічних систем / М.В.

Чернець, Ю.Ю. Скварок, М. Опеляк, Б.І. Кіндрацький. – Під заг. ред. М.В. Чернеця.

– Дрогобич. Коло, 2003. – 440 с.

10. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах: монография / Б.И.

Костецкий. – К.: Техніка, 1970.– 396 с.

11. Чихос Х. Системный анализ в триботехнике / Х. Чихос. – Пер. © англ. С.А.

Харламова – М.: Мир, 1982. – 352 с.

12. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 328 с.

13. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.

14. Кармалюк В.И. Исследование процесса вибрационной объемной обработки и его влияние на физико-механические свойства твердых сплавов: Автореф. дис. канд. техн. наук/ Львов, 1969. – 23 с.

15. Триандафилиди И.И., Кармалюк В.И. Повышение прочности сплава ВК15 вибрационной и термовибрационной обработками// Физ.-хим. Механика материалов. – 1974. – № 2. – С. 117-118.

16. Byelyaev O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung. Dissertation Dr.-Ing. – Magdeburg, Germany, 2008. – 149 p.

17. Мильман Ю.В. Новые методики микромеханических испытаний материалов методом локального нагружения жестким индентором// Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя/ НАН України. Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства. - К.: Наук. думка, 1998. – 657 с.

18. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів. Дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2006. – 160с.

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

20. Ефремов В.Д., Ящерицын П.И. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей. Мн.: БАТУ. - 1997. - 251 с.

21. Повышение эксплуатационных свойств твердосплавных пластин с помощью термомагнитно-абразивной обработки/ Шлюко В.Барон Ю.М. Технология магнитно-абразивной обработки. – Л.:Машиностроение, 1975. – 128 с.

22. Устройство для объемной полировки: А.с. 462707 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 /Ф.Ю.Сакулевич, Л.М.Кожуро, Г.А.Семенов и др. – №1948081/25-8; Заявлено 24.07.73.; Оpubл. 05.03.75., Бюл.№9. – 3с.ил.

23. Устройство для объемной полировки: А.с. 480535 СССР, М.Кл. В 24b 31/10 /Ф.Ю.Сакулевич, Л.М.Кожуро, А.А.Кособуцкий. – №1999104/25-8; Заявлено 25.02.74.; Оpubл. 15.08.75., Бюл.№30. – 2с.ил.

24. Технология за полиране на детайли от переждаеме стомама/ Б.Македонски, Х.Атанасов, М.Манолов и др.// Технология на машиностроенето. – София: ЦМИ, 1978. – С.67-72.

25. Жданович В.И. Исследование процесса магнитно-абразивной обработки наружных цилиндрических поверхностей: Дис. канд. техн. наук. – Минск, 1974. – 184с.

26. Кобчиков В.С. Технология магнитно-абразивного полирования изделий из твердых сплавов. Автореф. дис. ... канд.техн.наук/ ЛПИ. - Л., 1983. - 16с.

27. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176с.

28. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.

29. Степанов О.В. Исследование процесса формирования магнитно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей сложной геометрической формы. Дис. ... к.т.н. – Киев, 1997. – 145 с.

30. Спосіб магнітно-абразивної об'ємної обробки В.С.Майборода, В.Н.Гейчук, О.В.Степанов// Патент України на винахід No 25441 А, В24В31/112,1998.- Бюл. No6.

31. Майборода В.С., Джулій Д.Ю. Аналіз умов магнітно-абразивного оброблення багатограних неперето-чуваних твердосплавних пластин при їх довільному розташуванні в робочих зонах установки типу кільцева ванна. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. 2008.- №1(48), частина 2. – С. 22-28.

32. Майборода В.С., Гейчук В.М. Кінематика магнітно-абразивної обробки багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин в магнітній системі типу "кільцева ванна". Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наук. праць ЖДТУ, вип.8, 2010. - С.41-76.

33. Майборода В.С., Капушак Т.М. Магнітно-абразивна обробка твердосплавних елементів бурових доліт. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наук. праць ЖДТУ, вид.3, 2006. - С.62-8

34. ГОСТ 25330-82 Обработка электрохимическая. Термины и определения

35. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан, И. Е. Байеупов, Ю. М. Барон и др.; Под общ. ред. В. А. Валосатого. — Л.: Машиностроение, 1988. — 719 с. ISBN 5-217-00267-0

36. Житникова В. П., Зайцев А. Н. Импульсная электрохимическая размерная обработка. — М.: Машиностроение, 2008. — 413 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України