

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування»

Виконав: здобувач вищої освіти

за освітньо-професійною програмою

«Машини і засоби механізації

Сільськогосподарського виробництва»

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Ступеня вищої освіти

магістр групи 133ГМмд_21

ПАВЛИК Олексій

Керівник: докт. техн. наук, професор

ВЕТОХІН Володимир

Полтава – 2022 року

АВТОРЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування», складається з пояснювальної записки обсягом – сторінок, має 5 розділів та включає – ілюстрацій, -- таблиць, список використаних джерел.

Об'єктом дослідження є обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування. В дослідженні використовуються Premium та CBN шліфувальні круги на органічній зв'язці виробництва ПАТ «Полтавський алмазний інструмент».

Мета роботи – виявити взаємозв'язок параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування на якість обробленої поверхні.

Методикою дослідження передбачається обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування при різних видах шліфування для забезпечення заданої точності обробітку та працездатності круга.

В ході досліджень використовувались Premium та CBN шліфувальні круги на органічній зв'язці виробництва ПАТ «Полтавський алмазний інструмент». Проаналізовані основні характеристики шліфувальних кругів: тип, діаметр, ширина та матеріал круга, величина зерна, тип зв'язки, концентрація алмазу в алмазоносному шарі.

Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування проводили виходячи із, ДСТУ ISO 603-4:2019, що регламентує номенклатуру шліфувальних кругів та вимоги до їх роботи: шорсткість обробленої поверхні, коефіцієнт шліфування.

Ключові слова: шліфування, синтетичні алмази, алмазний шліфувальний круг, режим шліфування.

ЗМІСТ

Автореферат	2
Вступ	4
I. Стан питання та вибір напрямку дослідження	6
1.1 Сутність процесу шліфування	6
1.2 Аналіз фізичних та механічних властивостей абразивних матеріалів для виготовлення абразивного інструменту	7
1.3 Зернистість абразивних матеріалів	11
1.4 Концентрація алмазного зерна	13
1.5 Структура шліфувального круга	14
II. Основні теоретичні положення процесу шліфування	17
2.1 Формування набору показників процесу шліфування	17
2.2 Вибір режимів різання при шліфуванні	19
2.3 Формалізація показників працездатності	23
III. Загальна методика проведення досліджень	30
3.1 Матеріали і методи дослідження	30
3.2 Універсальний плоскошліфувальний верстат ЗГ71	32
3.3 Профілометр цеховий з цифровим відліком і індуктивним перетворювачем, модель 253	37
IV. Результати досліджень	40
V. Охорона праці та цивільний захист населення	47
Висновки	52

Перелік джерел посилання

ВСТУП

Проблема правильного вибору параметрів шліфувального алмазного круга та параметрів режиму шліфування являється актуальною як з точки зору забезпечення якості виконання операції, так і забезпечення високої продуктивності процесу та працездатності ШК.

Аналіз вивченості даної проблеми в світовій науці показав, що відсутня загальна методика вибору параметрів шліфувального круга та параметру режиму шліфування для різних видів шліфування та для обробки.

Існує велика кількість зарубіжних та вітчизняних фірм, що виробляють абразивний інструмент. Їх каталоги в кращому випадку дають загальні рекомендації по використанню кругів для обробки деталей з певних матеріалів, та відповідні таблиці вибору геометричних та конструктивних характеристик ШК. При цьому, як правило, відсутні рекомендації для визначення параметрів режиму шліфування.

Світові лідери абразивної промисловості ToolGal(США), Gleason(США), Pferd(Німеччина), Sia Abrasive(Швейцарія), VSM(Німеччина), Abrasive Technologies(США), Swatycomet(Словенія), Saint-Gobain Abrasives(Франція) пропонують дуже загальні рекомендації по вибору шліфувальних кругів. Каталоги цих компаній рекомендують визначатись із розміром необхідного інструменту, а потім, виходячи із геометричних і цінових параметрів, вибрати позицію запропонованого шліфувального круга.

На інформаційних сайтах вітчизняних абразивних підприємств Запорізький абразивний комбінат та Полтавський алмазний інструмент в залежності від умов роботи інструмента рекомендується вибрати його зв'язки, марку абразиву, зернистість та твердість. Разом з тим приведені рекомендації носять загальний характер і не дають конкретних параметрів виконання операцій шліфування.

Підприємства намагаються максимально використовувати ресурс працездатності кожного шліфувального круга. При цьому працездатність ШК повинна розглядатися з врахуванням часу роботи інструмента.

Мета даного дослідження: виявити взаємозв'язок конструктивних параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування на якість обробленої поверхні(точність, шорсткість), та працездатність шліфувального круга.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сутність процесу шліфування

Шліфування є одним із завершальних етапів виготовлення деталей і важливу роль відіграє матеріал інструменту.

Існує безліч абразивних матеріалів, такі як карбамід кремнію, карбід бора які не забезпечують відповідні показники обробки. Це зумовило до пошуку нових матеріалів, які замінили існуючі. В якості нового абразивного матеріалу було взято алмаз.

Алмаз виділяється високою твердістю та низькою швидкістю стирання, яка в 50 разів нижча, ніж у корунду і в десятки разів нижча, ніж у кращих сплавів, застосовуваних для виготовлення різців. Алмаз застосовується для буріння гірських порід і механічній обробці найрізноманітніших матеріалів. Застосування алмазних різців і свердел на обробці кольорових і чорних металів, твердих і нетвердих сплавів, скла, каучуку, пластмас та інших синтетичних речовин дає величезний економічний ефект в порівнянні з використанням твердосплавного інструменту. Надзвичайно важливо, що при цьому не тільки в десятки разів підвищується але одночасно значно поліпшується якість продукції. Оброблені алмазним різцем поверхні не вимагають шліфування, на них практично відсутні мікротріщини, в результаті чого в багато разів збільшується термін служби одержуваних деталей. Але основним недоліком використання алмазу є його висока вартість. Тому на заміну алмазам прийшли штучні (синтетичні) алмази.

Сучасні методи вирощування алмазів, здійснюються лише двома способами. Перша технологія являє собою високотемпературний, під величезним динамічним тиском, процес синтезу мінералів з вуглецевої

сировини, в присутності особливих металевих каталізаторів. Даний спосіб, дозволяє вирощувати штучні алмази протягом семи днів.

В Україні технології отримання й використання синтетичних алмазів розроблені науковцями Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Тут уперше були запропоновані нові розчинники вуглецю, що забезпечують ефективний синтез алмазів: магній, цинк, оксиди, карбонати, гідроксиди лужних та лужно-земельних елементів, розроблено низку марок шліфувальних порошків (AC2, AC4, AC6, AC15, AC20, AC32, AC50, AC65, AC80, AC100, AC125, AC160), мікропорошків (ACM, ACH) і субмікропорошків синтетичних алмазів із широким діапазоном фізико-механічних властивостей (міцність, крихкість, форма, тощо).

1.2 Аналіз фізичних та механічних властивостей для виготовлення абразивного інструменту

У світовому машинобудуванні найбільш розповсюдженим методом чистової і оздоблювальної обробки відповідальних і високозакалених деталей машин є абразивна обробка. Цією обставиною пояснюється зростання світових обсягів виробництва і споживання абразивних інструментів. Так, за даними щорічних звітів ТОВ «Інформ-Інструмент-Абразив-Алмаз», а також Інтернет-журналу «220 Вольт» з початку 2008-го року в світовій абразивній індустрії йде безперервне зростання виробництва абразивного інструменту.

Незважаючи на сучасні розробки технології лезової обробки, що дозволяє також обробляти загартовані матеріали, абразивний інструмент є найкращим засобом чистової обробки загартованих відповідальних деталей машин.

Низька вартість виготовлення абразивного інструменту, досить відпрацьована і ефективна технологія його виробництва, практично невідчутна частка вартості витраченого інструменту в собівартості деталі – все це ставить процес шліфування на лідируючі позиції в області чистової механічної обробки деталей машинобудування. Різноманітність конструкцій шліфувальних верстатів, безліч схем обробки заготовок різних форм, повсюдність дозволяє цим методом утримувати лідируючі позиції серед чистової обробки. При цьому забезпечується досить висока точність і мала шорсткість обробленої поверхні. Цим пояснюється значна частка шліфувальних верстатів, що використовуються в сучасній промисловості – близько 80%.

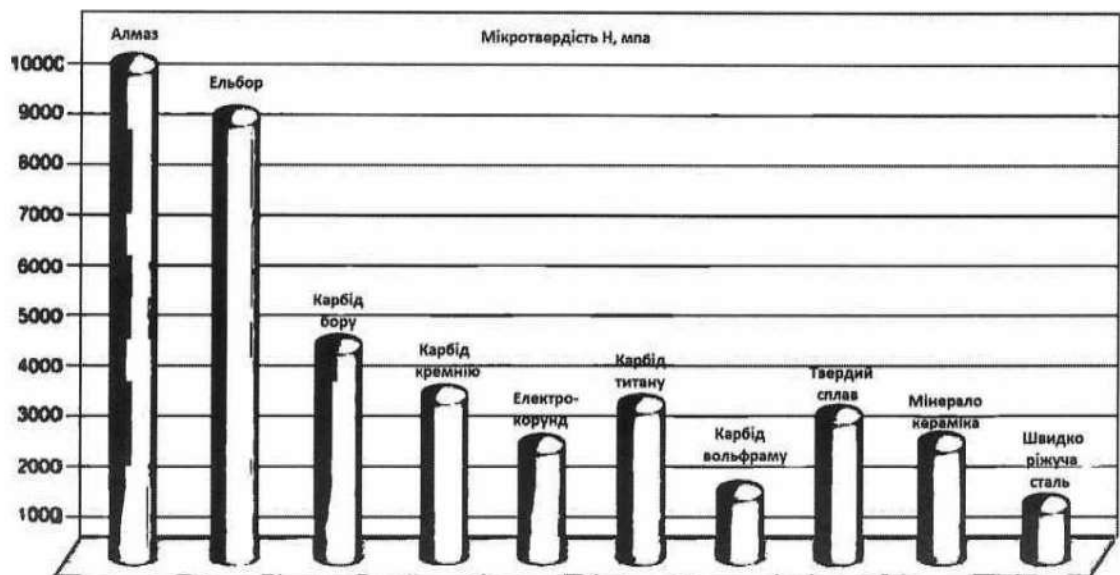


Рис. 1 Фізичні та механічні властивості матеріалів для виготовлення інструменту.

Починаючи з 70-х років минулого століття почали широко впроваджуватися у виробництво широкий асортимент абразивного інструменту із штучного алмазу та кубічного нітриду бору (CBN). Визначну роль в реалізації цього напрямку відіграв відкритий у березні 1966 року «Полтавський завод штучних алмазів і алмазного інструменту». Це

підприємство займалося синтезом алмазів та виробництвом алмазного інструменту. Для успішної роботи на сучасному ринку після реорганізації в 2005 році виробництво алмазного інструменту виділено в окреме підприємство ЧАО «Полтавський алмазний інструмент».

Аналіз фізичних і механічних властивостей матеріалів для абразивного інструменту (рис.1) показує, що по мікротвердості штучний алмаз та CBN в рази перевищує такі матеріали, як швидкоріжуча сталь, тверді сплави, карбіди вольфраму та титану, електрокорунду та карбіду кремнію і бору.

Область застосування алмазного інструменту:

- Обробка деталей і заточка ріжучого інструменту;
- Заточка і доведення інструменту з надтвердих матеріалів;
- Порізка та обробка кремнію, германію та інших матеріалів;
- Порізка, обробка та доведення виробів із фериту, ситалу та кераміки;
- Обробка графіту і вуглепластику;
- Порізка і обробка армованих скловолокном пластмас, склопластиків;
- Огранювання і полірування дорогоцінного каменю;
- Порізка, шліфування і полірування природного та штучного каменю;
- Обробка всіх видів художнього і технічного скла, фарфору;
- Порізка і обробка всіх видів вогнетривких матеріалів.

Область застосування CBN інструменту:

- Чистове шліфування і заточування інструменту з вольфрамових (P18, P12, P9), вольфрамо-молібденових (P6M5) та інших швидкоріжучих сталей;

- Чистове і остаточне шліфування презиційних деталей із жароміцних нержавіючих і високолегованих конструкційних сталей високої твердості (HRC55 та інші), можливість отримання високої точності яка звичайним абразивним інструментом обмежується порівняно швидким його зносом і затупленням.

Переваги алмазного та CBN інструменту перед абразивним інструментом:

- Підвищена точність обробки інструменту і деталей;
- Збільшення стійкості інструменту після алмазної заточки в 1.2 – 1.5 рази;
- Зменшення температури в робочій зоні;
- Збільшення часу роботи устаткування без переналагодження через більш тривалий час терміну служби алмазного CBN інструменту.

Сьогодні, основними пріорітетами ЧАО «Полтавський алмазний інструмент» є постійні роботи з розвитку та впровадженню нових технологій у виробництво алмазного інструменту, а також вдосконалення продукції, що випускається відповідно до вимог споживачів. Це дозволяє успішно проводити алмазний інструмент в трьох виконаннях:

БАЗИС – Алмазні кола на органічній зв'язці з вигідною ціною пропозицією на ринку, призначені для одиночного і дрібносерійного виробництва.

СТАНДАРТ – Алмазні і CBN кола на органічній та металевій зв'язці призначені для широкого застосування в виробничих процесах на промислових підприємствах.

PREMIUM – Новий вид алмазного і CBN інструменту спеціально розроблений для заміни імпортного високопродуктивного інструменту провідних світових виробників і призначений для:

1. Деревообробної і металургічної промисловості для роботи на заточувальних верстатах:
 - Виготовлення та заточування дискових пилок з швидкоріжучих сталей;
 - Виготовлення та заточування стрічкових пилок з твердосплавними зубами.
2. Машинобудування і інструментального виробництва для роботи на обробних центрах на підвищених режимах обробки:
 - Виготовлення металообробного інструменту (свердел, фрез, розгорток);
 - Заточка металообробного інструменту;
 - Виготовлення деталей машинобудування.

Головним доказом високої якості роботи є функціонування на підприємстві ЧАО «Полтавський алмазний інструмент» системи управління якістю відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO: 0991:2008. Ефективність системи управління якістю визнана провідною світовою компанією BEREAU VERITAS Certification(Сертифікат № 228635). Продукція вироблена ЧАО «Полтавський алмазний інструмент» відповідає вимогам безпеки по EN13236 і може широко використовуватися в галузевому машинобудуванні.

1.3Зернистість абразивних матеріалів

Зернистість абразивних матеріалів визначається розміром зерен та вмістом основної фракції. Абразивний матеріал ділять на шліфзерна, шліфпорошки, мікропорошки і тонкі мікропорошки. Поділ за зернистістю: шліфзерно (розміри 2000-160 мкм) - 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25,

20, 16; шліфпорошки (розміри 125- 40 мкм) - 12, 10, 8, 6, 5, 4; мікропорошки (розміри 63- 14 мкм) - M63, M50, M40, M28, M20, M14; тонкі мікропорошки (розміри 10-5 мкм) - M10, M7, M5.

Зернистість шліфзерна і шліфпорошків означає мінімальний розмір отвору в ситі на якому затримуються зерна основної фракції.

Для мікропорошків та тонких мікропорошків зернистість вказує на максимальний розмір основної фракції в мікрометрах. Зернистість алмазних і ельборових мікропорошків виражається дробом в чисельнику якого значення максимального, в знаменнику мінімального розміру основної фракції.

Таблиця. 1.1.Зернистість абразивних матеріалів

Позначення зернистості	Розмір зерен основної фракції, мкм	Позначення зернистості	Розмір зерен основної фракції мкм
Шліфзерно		Шліфпорошки	
200	2000 ... 2500	12	125 ... 160
160	1600 ... 2000	10	100 ... 125
125	1250 ... 1600	8	80 ... 100
100	1000 ... 1250	6	63 ... 80
80	800 ... 1000	5	50 ... 63
63	630 ... 800	4	40 ... 50
50	500 ... 630	3	28 ... 40
40	400...500	Мікропорошок	
32	315...400	M63	50...63
25	250...315	M50	40...50
20	200...250	M40	28...40
16	160...200	M28	20...28
		M20	14...20
		M14	10...14
		Тонкі мікропорошки	

		M10	7..10
		M7	5...7
		M5	3,5...5

Зернистість абразивного інструменту вибирають в залежності від шорсткості поверхні, точності розмірів і властивостей оброблюваного матеріалу. Так для попереднього круглого і плоского шліфування шліфування до шорсткості $R_a 2,5 \dots 0,63$ мкм., шліфування в'язких матеріалів і загострювання інструментів приймають зернистість абразивних інструментів 50 – 63. Попереднє і чистове шліфування до шорсткості $R_a 2,5 \dots 0,63$ мкм., загострювання інструментів здійснюють інструментами з зернистістю 40 – 32. Чистове шліфування деталей, загострювання різального інструменту, шліфування крихких металів до шорсткості $R_a 1,5 \dots 0,16$ мкм. використовують інструменти зернистістю 25,20,16. Попереднє алмазне шліфування проводять кругами із зернистістю 200/160 – 125/100, а чистове до $R_a 0,63 \dots 0,16$ мкм., - 125/100 – 80/63.

1.4 Концентрація алмазного зерна

Концентрація зерен у абразивному шарі є умовною характеристикою ріжучої здатності алмазних кругів. За 100%-ту концентрацію приймають вміст 0,878 г (4,4 карата) зерен алмазу в 1 см^3 абразивного шару, що становить 25% його обсягу. Із збільшенням концентрації підвищується ріжуча здатність і стійкість круга. Для остаточного шліфування і доведення рекомендуються круги 100%-тої і 150%-тої концентрацій, а для профільного шліфування - круги 150%-тої і 200%-тої концентрацій.

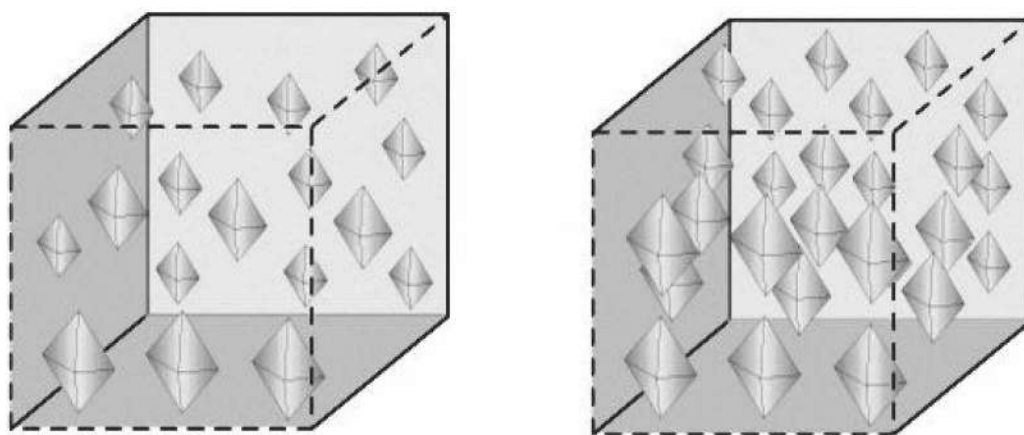


Рис. 3. Концентрація алмазів в алмазному шарі: зліва — низька концентрація, праворуч — висока концентрація

Попереднє шліфування і заточування твердосплавних інструментів виконують звичайно кругами на металевій зв'язці з 100 %-вою або 150%-вою концентрацією.

При правильному виборі концентрації необхідно керуватися двома правилами: при невеликій площі контакту між кругом і заготовкою, необхідно вибрати високу концентрацію алмазів, за рахунок цього забезпечується висока зносостійкість інструменту; при великій площі контакту, необхідно знизити температуру в зоні різання і зменшити контактний тиск тому і вибирають низьку концентрацію.

1.5 Структура шліфувального круга

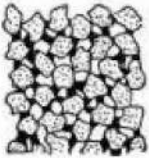
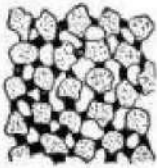
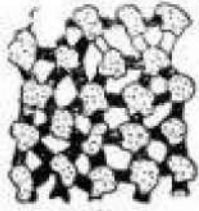
Основою структури є об'ємний вміст абразивного зерна в інструменті. Структура позначається номерами від 0 до 20. Чим менше зерен в одиниці об'єму, тим вище порядковий номер структури для абразивних інструментів. У порах розміщується стружка, яка при виході шліфувального круга з дотику з заготовлею повинна вільно вилітати з пір, так як в противному випадку втратить ріжучу здатність. В таблиці 2 показані різні структури шліфувальних кругів.

Крім матеріалу зерна, зернистості, твердості і зв'язки, абразивний інструмент визначає ще і структура. Структура характеризує будову абразивного інструменту в залежності від кількісного співвідношення між зернами, зв'язкою і порами в одиниці об'єму.

Абразивний інструмент має 12 основних номерів структур (1 - 12), які діляться на три групи (таблиця 2): щільні (закрита) (1 - 3), середньої щільності (4 - 6) і відкриті (7 - 12). Номер структури визначає проміжки (відстань) між зернами: чим більше номер, тим більше проміжок. Правильний вибір структури абразивного інструменту сприятиме меншому заповненню пор стружкою, а отже, і підвищення продуктивності. При підвищенні номера структури зменшується температура обробленої поверхні. В окремих випадках застосовують високопористі круга (номер структури від 13 до 18), в яких розмір і кількість часу збільшені.

Таблиця 2.1

Структура зерен абразивного матеріалу

№ структури	Об'ємний вміст зерна в %	Назва структури	Ескіз
1	60	Щільна (закрита)	
2	58		
3	56		
4	54	Середня	
5	52		
6	50		
7	48	Відкрита	
8	46		
9	44		
10	42		
11	40		
12	38		

Найпоширеніші абразивні алмазні інструменти — шліфувальні крути (основним рухом під час обробки є обертання) та шліфувальні бруски (зворотно-поступальний рух). Основні конструктивні елементи абразивного алмазного інструменту: корпус (переважно металевий), абразивовмісний шар та проміжний шар, який забезпечує щільне поєднання абразивовмісного шару з корпусом. Абразивна частина алмазного інструменту — зерна алмазів, скріплені між собою зв'язувальною речовиною (зв'язкою).

Інструменти виготовляють на зв'язках 4 груп:

- полімерних на основі смол;
- металевих переважно на основі міді;
- керамічних на основі скла;
- одношарових (гальванічних) переважно на основі нікелю.

Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що питання впливу параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування та якість обробленої поверхні вивчені не достатньо.

Метою даного дослідження є встановлення взаємозв'язку конструктивних параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування на якість обробленої поверхні (точність, шорсткість R_a) та працездатності шліфувального круга.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Виявити вплив параметрів шліфувального круга (тип, розмір зерна, зв'язки, концентрація алмазоносного шару) на якість обробленої поверхні R_a .
2. Виявити вплив параметрів режиму шліфування (швидкість, подача, глибина шліфування) на якість обробленої поверхні R_a .

Виходячи із поставленої мети та завдання метою даної магістерської роботи є “Обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування”.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

2.1 Формування набору показників працездатності шліфувальних кругів

Будь який ШК призначений для успішного виконання операції шліфування, головним завданням якої завжди являється отримання деталі, яка відповідає всім вимогам креслення. З цієї точки зору, найбільш важливими показниками працездатності ШК є величини параметрів, обумовлені конструктором в кресленні деталі, основними з яких являються:

- Точність формованого розміру – IT , мкм;
- Шорсткість шліфованої поверхні – Ra , мкм;
- Відсутність припіку.

Приведені показники являються результатом роботи ШК і досягнення їх певного рівня являється основною задачею експлуатації інструменту. Величини показників також залежать від умов експлуатації інструменту. Слідуює, що при опису працездатності ШК необхідно враховувати вихідні параметри експлуатації інструменту:

- Марка шліфувального матеріалу;
- Вид операції шліфування;
- Застосований ЗОТЗ.

Від марки шліфувального матеріалу залежать силові і температурні характеристики процесу шліфування. Найбільш повні дослідження в цьому напрямку виконані Н.И. Волским, С.Н. Корчаком. Дослідження, виконані А.А. Дьяконовим, пов'язують оброблюваність матеріалів шліфуванням з технологічними умовами реалізації операції шліфування, в тому числі зі схемою шліфування і застосованою маркою ЗОТЗ.

В результаті, для різних матеріалів їм визначений параметр дійсний опору матеріалу шліфуванню.

Існує велика кількість робіт, виконаних науковою школою під керівництвом проф. Л.В. Худобина, присвячених управлінню процесом шліфування шляхом зміни складу і методу подачі в зону обробки ЗОТЗ. Дані, приведені в науковій роботі, свідчать про існування впливу марки ЗОТЗ, а також методу її подачі в зону шліфування на величини показників процесу шліфування.

Перераховані параметри експлуатації круга являються квазіпостійними та повинні бути враховані при прогнозуванні працездатності ШК. Їх облік може бути реалізований напряму, тобто при прогнозуванні показників працездатності ШК в вихідних даних враховується вид операції шліфування (наприклад, через довжину дуг контакту одиничного абразивного зерна з поверхнею заготовки), а також дійсний опір матеріалу шліфуванню. Облік складу і технік подачі ЗОТЗ в зону шліфування може бути реалізований, зокрема, за допомогою поправочних коефіцієнтів на результати прогнозування, або на основі достатньо великого числа теоретичних та експериментальних результатів по використанню різних ЗОТЗ при обробітку різних марок сталей.

Що стосується режимів шліфування, то вони являються перемінними на протязі всього часу експлуатації ШК і являються фактором управління процесом. Саме за рахунок зміни режимів шліфування досягається рівень експлуатаційних властивостей, ШК виглядає наступним чином:

Експлуатаційні показники:

- Точність формованого розміру ІТ -, мкм;

- Шорсткість шліфованої поверхні – R_a , мкм;
- ЗОТЗ який використовується

2.2 Вибір режимів різання при шліфуванні

Енергія шліфування витрачається на деформацію шару, який зрізується і подолання сил тертя (основна частина енергії), які виникають між абразивним інструментом і оброблюваною поверхнею. При цьому робота деформації шару, який зрізується, не перевищує 25% усієї роботи шліфування. Так як шліфування відбувається з малою товщиною шару, що зрізується і великими від'ємними передніми кутами, то для зняття одиниці об'єму матеріалу витрачається у 20 разів більше енергії ніж для точіння і фрезерування.

У процесі шліфування на заготовку діє сила різання P , яка може бути розкладена на три складові (рис.2.1): дотичну (головну) P_z , радіальну P_y і осьову P_x .

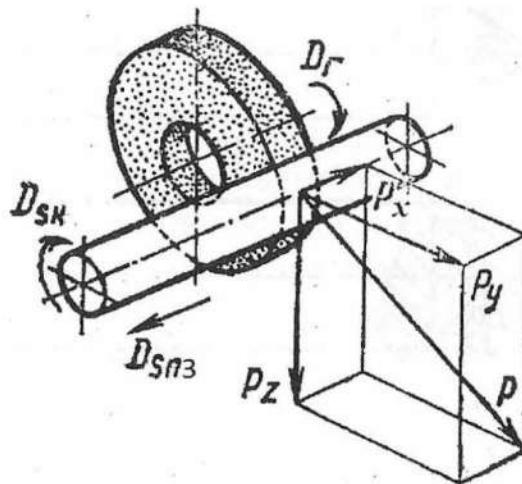


Рис. 2.1 Сили різання при шліфуванні

Так як абразивні зерна мають значні радіуси закруглення, великі від'ємні передні кути, а товщина зрізу мала, то радіальна складова P_y в 1.5 ... 3 рази більша головної складової сили різання.

Головна (тангенціальна) складова P_z визначає потужність різання. Радіальна складова P_y зумовлює пружні деформації технологічної системи, значно впливає на точність і якість оброблення та вібростійкість процесу шліфування. Потужність різання N , кВт, при шліфуванні дорівнює:

$$N = \frac{P_z \cdot V_k}{1000}$$

Де: V_k – швидкість різання при шліфуванні, м/с;

$$V_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60},$$

Де: n_k – частота обертання круга, хв⁻¹;

Для зовнішнього і внутрішнього круглого шліфування конструкційних сталей і чавунів потужність різання визначається за емпіричною формулою[26]

$$N = C_n \cdot S_{nz} \cdot V^{3,0,7} \cdot S_{nop}^{0,7},$$

Де: C_n – коефіцієнт, який враховує умови шліфування;

S_{nz} , S_{nop} – повздовжня і поперечна подачі (відповідно);

V_3 – швидкість обертання заготовки, м/хв.

Для зовнішнього і внутрішнього круглого шліфування припуски на оброблення (на діаметр) залежать від діаметра обробленої поверхні, термічного оброблення і знаходяться в межах 0,2...1,2 мм, а плоского – 0,2...0,5 мм залежно від висоти заготовки.

Обґрунтування режиму різання для шліфування починають з вибору типу і моделі верстата, виходячи з виду шліфування, габаритних розмірів заготовки, точність розмірів і шорсткості обробленої поверхні.

Форму, розміри і характеристики абразивного круга вибирають, враховуючи форму обробленої поверхні і вид шліфування, властивості

оброблюваної поверхні і вид шліфування, властивості оброблюваного матеріалу, точність і шорсткість обробленої поверхні.

Після цього призначають глибину шліфування (поперечна подача круга), повздовжню і поперечну подачі заготовки та швидкість різання.

Глибину різання для круглого шліфування визначають величиною поперечної (радіальної) подачі, а для плоского шліфування – величиною вертикальної подачі шліфувальної бабки за один хід стола.

Залежно від виду шліфування і якості обробленої поверхні, глибину різання приймають: для круглого шліфування – чорнового 0,005...0,025 мм, а чистового – 0,0025...0,015; для плоского чорнового – 0,015...0,04 і чистового 0,005...0,015 мм.

Повздовжня подача за один оберт заготовки для круглого шліфування, або поперечна подача за один хід стола для плоского шліфування задається в долях ширини круга і залежить від характеру шліфування і шорсткості обробленої поверхні. Повздовжня подача складає для чорнового шліфування $(0,4...0,7)B$, а чистового $(0,2...0,4)B$ (де B – ширина круга). Поперечна(радіальна) подача для врізного круглого шліфування приймається на оберт заготовки 0,001...0,0075 мм/об.

Швидкість різання при шліфуванні призначають залежно від виду шліфування. Для звичайного шліфування швидкість різання обирають 30...35 м/с. Для швидкісного шліфування швидкість різання приймають у діапазоні $V_{кр} = 40...80$ м/с.

Частота обертання абразивного круга дорівнює ($хв^{-1}$):

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_{кр}}{\pi \cdot D_{кр}}$$

Для круглошліфувальних верстатів обирають також швидкість обертання заготовки залежно від виду шліфування і шорсткості обробленої поверхні матеріалу. Частоту обертання, заготовки визначають за формулою:

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3}$$

Для плоскошліфувальних верстатів швидкість повздовжнього руху стола (заготовки) обирають в межах 8...30м/хв. За величиною повздовжньої подачі $S_{пз}$ і частотою обертання заготовки n_3 визначають швидкість повздовжнього переміщення стола із заготівкою, м/хв:

$$V_{пз} = \frac{N_3 \cdot S_{пз}}{1000}$$

Основний час для круглого зовнішнього і внутрішнього шліфування з повздовжньою подачею визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{L \cdot Z_0}{n_3 \cdot S_{пз} \cdot t} \cdot K$$

Де: L – довжина ходу стола, мм; Z_0 - припуск на сторону, мм;

Для круглого врізного шліфування основний час дорівнює:

$$T_0 = \frac{(Z_0 + L_1) \cdot K}{n_3 \cdot S_p}$$

Де: L_1 – шлях врізування; S_p – радіальна подача шліфувального круга.

Для плоского шліфування основний час визначають за формулою:

$$T_0 = \frac{H \cdot L \cdot Z_0}{1000 \cdot V_\sigma \cdot S_n \cdot t \cdot m_\sigma} \cdot K$$

де: H – ширина шліфування, мм. $H=B+B_k+5$ (B – сумарна ширина деталей, B_k – висота круга);

L – довжина повздовжнього ходу стола, мм.

Z_0 – припуск на оброблення, мм;

V_0 – швидкість руху стола (заготовок), м/хв;

S_n – поперечна подача стола, мм/хв;

t – глибина шліфування (вертикальна подача), мм;

m – кількість деталей, що одночасно шліфуються;

K – коефіцієнт точності, що враховує час на виходжування, тобто шліфування без поперечної подачі. Для попереднього шліфування $K=1,2$, а для чистового шліфування – $K=1,4$.

2.3 Формалізація показників працездатності

Для безпосереднього визначення величин експлуатаційних показників ШК необхідно виконати їх формалізацію, тобто зіставити кожний експлуатаційний показник з параметром процесу шліфування, котрий представляє можливим визначити для конкретного поєднання параметрів експлуатації.

Точність формованого розміру в рішучій мірі залежить від величини сили шліфування. Слідуює, що для оцінки точності розміру, формованого ШК при обробітку, приймаємо величину радіальної складової сили шліфування – P_y .

Шорсткість шліфувальної поверхні, яка диктується кресленням деталі, являється прямим параметром, який характеризує якість шліфувальної поверхні деталі. Проте, враховуючи, що процес шліфування є циклічним, то незалежно від кількості ступенів в циклі для оцінки якості шліфувальної поверхні приймаємо величину шорсткості R_a поверхні за весь цикл обробки.

Відсутність припіку на шліфувальній поверхні також характеризує якість її обробки. При комплексній оцінці працездатності ШК дана обставина може бути враховано граничними режимами шліфування, перевищення яких призводить до виникнення на оброблюваній поверхні припіку. Зокрема, за даними А.И. Исаева та С.С. Силина граничною умовою виникнення припіку є температура 600 °С в заготовці на глибині 0,02 мм. Дослідження Е.П. Калинина дозволяють визначити глибину прижогу для жароміцних та вуглецевих сталей, виходячи з температури в зоні шліфування. Таким чином, відсутність прижогів може бути визначена величиною температури $U(x)$ в зоні шліфування, як на якісному, так і на кількісному рівні.

Крім цього, необхідно враховувати, що забезпечення необхідного рівня експлуатаційних показників, обговорених вище, можливо в разі створення нормальних умов роботи абразивних зерен круга, зокрема, відсутності інтенсивного засалювання робочої поверхні ШК. Саме засалювання являється одним з домінуючих факторів, який визначає рівень працездатності інструменту. Необхідність обліку цього обмеження також продиктована тим, що в багатоменклатурному виробництві заготовки, виготовлені з різних матеріалів, можуть оброблятися ШК характеристики яких, не призначені до експлуатації в даних умовах, що не відповідає традиційним рекомендаціям, сформованим, в тому числі, з урахуванням відсутності засалювання. Ця обставина може призвести до катастрофічного засалювання робочої поверхні ШК, що являється неприємним. Обмеження по засалюванню для електрокорундових інструментів може бути враховано виразом:

$$U(x) < K_n \cdot T_{пл},$$

Де K_n – коефіцієнт, який залежить від матеріалу зерна і заготовки (0,80...0,85); $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу.

При виконанні умови схоплювання абразивного та оброблюваного матеріалу відсутня. Але, навіть якщо воно відбувається, то в разі перевищення температури $T_{нт}$, яка визначається за методикою Л.В. Худобина та А.Н. Унянина[11], накип який виник не зможе утриматися в порі абразивного круга за рахунок механічних сил. Остаточне обмеження по засалюванню робочої поверхні ШК виглядає наступним чином:

$$T_{нт} < U(x) \epsilon < K_n \cdot T_{пл}.$$

В підсумок, в комплексі показників працездатності ШК входять наступні показники:

- P_y – радіальна сила шліфування;
- R_a – шорсткість поверхні;
- $U(x)$ – температура в зоні контакту ШК з заготовкою.

Постійна складова параметрів експлуатації ШК повинна бути врахована в виді констант, які виходять з умов роботи ШК, в яких оцінюється його працездатність. Змінний параметр експлуатації – режим шліфування – являється основним фактором управління процесом та встановлюється безпосередньо на станку робочим чи наладчиком. Він являється головним фактором при проєктуванні операції шліфування.

Комплекс експлуатаційних показників з урахуванням тимчасової нестаціонарності шліфування.

Шліфування – метод обробітку, якому властива інтенсивна зміна характеристик самого інструменту, оброблюваної поверхні, а також величин показників, які численно характеризують процес. Так, даним Н.И. Богомоллова та Г.И. Саютина, складова сила різання P_y до 7-ої хвилини роботи круга характеристики 24AF100M6V збільшується приблизно в 1,5

разів, порівняно з початковим значенням, за даними С.Н. Корчака, величина лінійного зносу круга твердості L при обробітку заготовок зі сталі 45 за хвилин його роботи збільшується в 3 рази, а круга твердості М – в 2 рази. В роботі В.И. Муцянка та В.И. Островського, показано, що при шліфуванні сталі Р9Ф5 кругом 24AF90JV коефіцієнт шліфування за час роботи ШК зменшується приблизно в 3 рази, за даними Н.И. Волского, за 25 хвилин роботи ШК 14AF54KV потужність різання зростає більше ніж на 50%. Дослідження Л.Н. Филимонова, показали, що ріжуча спроможність ШК з білого електрокорунда на початку шліфування заготовки із сталі 40Х збільшується, а потім за 10 хвилин роботи круга встигає зменшитися більш ніж в 2 рази. Дослідження А.В. Якімова, показали що об'ємний знос ШК 24AF60L7V при шліфуванні сталі Р18Ф2 за 20 хвилин роботи збільшується приблизно в 9 разів. Також в роботі Л.В. Худобина. А.Н. Унянина показана інтенсивна зміна показників шліфування під час роботи інструменту.

При створенні автоматизованого випробувального комплексу ВНИИАШ були проведені дослідження тимчасового характеру зміни показників процесу шліфування:

- середні значення сил шліфування;
- амплітуда коливань сил різання;
- вібрації деталі та круга;
- загальна та ефективна потужність шліфування;
- радіальний знос круга та його макрогеометрія;
- хвилястість деталі, її шорсткість;
- наявність прижогів на шліфованій поверхні

Тимчасова зміна показників шліфування відмічається і закордонними дослідниками. Зокрема, S. LaChance, A. Warkentin, R. Bauer був розроблений автоматизований та достатньо точний метод виміру величини зносу ШК протягом процесу шліфування.

На машинобудівних підприємствах в цілях забезпечення стабільності якості продукції яка випускається кожна нова партія ШК, як правило, піддається вхідному контролю по перевірці їх експлуатаційних показників. В результаті вхідного контролю фіксується кількість деталей, виготовлених ШК за час його роботи (повний ресурс), основний (технологічний) час операції – T_0 , а також період стійкості круга між правками – T , який визначається по будь якому критерію.

В таблиці 2.1 приведені приклади таких виробничих даних, зібраних з підприємств "АвтоВАЗ" та "КамАЗ", при круглому зовнішньому врізному шліфуванні матеріалів І групи оброблюваності зі зняттям припуску від 0,3 до 1 мм. З таблиці 2.1 видно, що середній час роботи ШК між правками становить 15 хвилин, при цьому обробляється від 10 до 50 деталей.

Таблиця 2.1 – Середні величини періодів стійкості ШК різних характеристик

Характеристика круга	Стадія	Період стійкості круга між правками T	
		хвилин	деталі, шт
25AF90M6V	Кінцева	11,0	20
25A F90K6V		27,2	50
25A F90L6V		17,4	30
24A F90H7V		12,5	25
25AF60O6V		16,2	26
24A F60M7V	Попередня	10,3	13
24A F46K7V		15,0	26
24AF60K7V		8,7	10
24AF90M7V		9,6	11

Для порівняння, в таблиці 2.2 приведено час циклу, протягом якого виготовляється одна деталь, при обробці заготовок із сталі І групи обробки, з припуском 0.3 – 1.0 мм, розраховане по нормативам режимів шліфування для умов круглого зовнішнього врізного шліфування.

Таблиця 2.2 – Час циклу шліфування однієї деталі

Припуск, мм	Діаметр заготовки, мм				
	20	50	80	100	160
	Час шліфування, хв				
0,3	0,23	0,36	0,45	0,51	0,65
0,5	0,31	0,49	0,61	0,70	0,86
1,0	—	0,61	0,77	0,86	1,08

Приймаючи величину середнього періоду стійкості ШК, яка рівняється 15 хвилинам, зіставляючи її з часом шліфування однієї деталі (таблиця 2.2) отримаємо, що за період стійкості в залежності від розміру заготовки та величини припуску виготовляється від 13 до 65 деталей (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3- Кількість деталей, виготовлених ШК за період стійкості

Припуск, мм	Діаметр заготовки, мм				
	20	50	80	100	160
	Кількість виготовлених деталей, шт.				
0,3	65	41	33	29	23
0,5	48	30	24	21	17
1,0	—	24	19	17	13

Приведені дані по експериментальним дослідженням зміни експлуатаційних показників шліфування в часу, а також виробничі дані таблиць 2.2 та 2.3 дають підставу зробити висновок про те, що шліфування кожної наступної деталі під час періоду стійкості інструмента відбувається ШК з експлуатаційними властивостями, які відрізняються від тих, якими він володів на початку обробки. При цьому за весь період стійкості експлуатаційні показники ШК змінюються в значній мірі. Не дивлячись на це, в реальних виробничих умовах призначення режимів шліфування для обробки наступної, після першої деталі в партії здійснюється виходячи із початкових ріжучих властивостей інструменту, сформованих безпосередньо після правки робочої поверхні ШК, тобто поточний стан робочої поверхні інструменту не враховується.

Крім того, також доведена тимчасова нестационарність експлуатаційних показників ШК [1]: в середньому, протягом роботи ШК складові сили шліфування збільшуються P_y – в 1.2-3.6 а P_z – в 1.3-5 рази; шорсткість R_a шліфованої поверхні зростає в 1.2-4.6 рази в залежності від характеристики застосованого інструменту, марки матеріалу та режиму шліфування.

Таким чином аналіз експериментальних даних, описаних в літературі, вивчення виробничого досвіду експлуатації ШК, а також проведені власні експериментальні дослідження свідчать про те, що під час періоду стійкості ШК показники процесу шліфування інтенсивно змінюються. Враховуючи, що в основу розробленої методики проектування операцій шліфування покладений облік «континуальності» експлуатаційних показників ШК, тобто їх мінливості в часу, слідє закінчити, що при отриманні відомостей про працездатність ШК в різних технологічних умовах необхідно враховувати нестационарність процесу шліфування.

Висновок

1. Для сформованого комплексу показників в якості першого фактору приймаємо керований технологічний параметр – перемінний параметр експлуатації – режим шліфування. В якості другого фактору приймаємо час шліфування

2. Комплекс експлуатаційних показників та врахованих факторів, які описують працездатність ШК для шліфування включає:

$P_y = f(V_{спад}, T)$ - Радіальна сила шліфування, як функція режиму та часу шліфування, Н;

$R_a = f(V_{спад}, T)$ – Шорсткість шліфованої поверхні, як функція режиму та часу шліфування, мкм;

$U(x) = f(V_{\text{спад}}, T)$ – Температура в зоні контакту круга з заготовкою, як функція режиму та часу шліфування.

3. Сформований комплекс експлуатаційних показників з обліком прямого технологічного фактору – режиму шліфування, а також нестационарності показників по часу, являється адекватним фізичним процесом, який проводять при шліфуванні.

3.ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Матеріали і методи дослідження

Проблема правильного вибору параметрів шліфувального алмазного круга та параметрів режиму шліфування являється актуальною як з точки зору забезпечення якості виконання операції шліфування (точність та шорсткість), так і забезпечення високої продуктивності процесу та працездатності ШК.

Аналіз вивченості даної проблеми в світовій науковій літературі [1,3,4,5,6,25,26] показав, що відсутня загальна методика вибору параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування для різних видів шліфування та для обробки різних матеріалів.

Існує велика кількість вітчизняних та зарубіжних фірм, що виробляють абразивний інструмент. Їх каталоги, в кращому випадку, дають загальні рекомендації по використанню кругів для обробки деталей з певних матеріалів, та відповідні таблиці вибору геометричних та конструктивних характеристик ШК. При цьому, як правило, відсутні рекомендації для визначення параметрів режиму шліфування [2,16].

Світові лідери абразивної промисловості ToolGal (США), Gleason (США), Pferd (Німеччина), Sia Abrasive (Швейцарія), VSM (Німеччина), Abrasive Technologies (США), Swatycomet (Словенія), Saint-Gobain Abrasives (Франція) пропонують дуже загальні рекомендації по вибору шліфувальних кругів. Каталоги цих компаній рекомендують визначатись із розміром необхідного інструменту, а потім, виходячи із геометричних і цінових параметрів, вибрати позицію запропонованого шліфувального круга [5,14].

На інформаційних сайтах вітчизняних абразивних підприємств Запорізький абразивний комбінат та Полтавський алмазний інструмент в залежності від умов роботи інструмента рекомендується вибрати його зв'язки, марку абразиву, зернистість та твердість. Разом з тим приведені рекомендації носять загальний характер і не дають конкретних параметрів виконання операцій шліфування.

Підприємства намагаються максимально використовувати ресурс працездатності кожного шліфувального круга. При цьому працездатність ІШК повинна розглядатися з врахуванням часу роботи інструмента.

Мета даного дослідження: виявити взаємозв'язок конструктивних параметрів шліфувального круга та параметрів режиму шліфування на якість обробленої поверхні (точність, шорсткість R_a), та працездатність шліфувального круга.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Виявити вплив параметрів шліфувального круга (тип, розмір зерна, зв'язка, концентрація алмазоносного шару) на якість обробленої поверхні R_a .
2. Виявити вплив параметрів режиму шліфування (швидкість, подача, глибинне шліфування) на якість обробленої поверхні R_a .

Методикою дослідження передбачалося обґрунтування параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування при різних видах шліфування для забезпечення заданої точності обробітку та працездатності круга.

В ході досліджень використовувалися Premium та CBN шліфувальні круги на органічній зв'язці виробництва ПАТ "Полтавський алмазний інструмент". Були проаналізовані основні характеристики шліфувальних кругів: тип, діаметр, ширина та характеристика матеріалу круга: величина зерна, тип зв'язки, концентрація алмазу в алмазоносному шарі.

Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування проводили виходячи з ДСТУ ISO 603-4:2019[24], що

регламентує номенклатуру шліфувальних кругів та вимоги до їх роботи: шорсткість обробленої поверхні Ra та коефіцієнт шліфування.

Досліджено вплив зернистості круга та типу зв'язки на шорсткість оброблюваної поверхні Ra при різних видах шліфування.

Встановлено рекомендовані режими шліфування для Premium та CBN шліфувальних кругів для різних видів шліфування(плоского, попереднього та завершального) шліфування направляючих верстатів;

Змінними параметрами шліфування взяті швидкість круга м/хв, швидкість виробу м/хв, повздовжня подача мм/под.хід, глибина шліфування мм/под.хід.

3.2 Універсальний плоскошліфувальний верстат 3Г71

Дослідження проводили на плоскошліфувальному верстаті 3Г71 [рис.3.1] призначеному для шліфування поверхонь оброблюваних деталей периферією круга. У певних межах можлива обробка поверхонь, розташованих під кутом 90° до дзеркала столу.

За спеціальним замовленням та окрему плату разом з верстатом може бути поставлений ряд пристосувань, що розширюють технологічні можливості верстата.

Із застосуванням різних пристосувань можливо профільне шліфування різних деталей. Точність профілю при цьому залежить від методу заправки профілю круга і від застосовуваного пристосування для кріплення деталей.

Верстат комплектується стандартною електромагнітною плитою.



Рис. 3.1 Загальний вид верстату 3Г71

Головний рух (обертання шпинделя) здійснюється від окремого електродвигуна через плоскопасову передачу. Вертикальна подача може бути ручна і автоматична.

Ручна вертикальна подача здійснюється від маховика (вал III) через червячну передачу. Автоматична вертикальна подача здійснюється лопатевим гідроциліндром від гідроприводу.

Прискорене переміщення шліфувальної головки здійснюється від електродвигуна через червячну пару. Електродвигун з'єднаний з черв'яком запобіжною муфтою.

Поперечна подача може бути ручною і автоматичною. Ручна подача може здійснюватися або від маховика, або рукояткою.

Автоматична поперечна подача здійснюється гідроциліндром, що сидить на валу. Поворот ротора гідроциліндра через обгону муфту, шестерні забезпечує поворот гвинта. Шестерня може бути включена і зчеплена безпосередньо з шестернею, внаслідок чого гвинт отримує зворотне обертання.

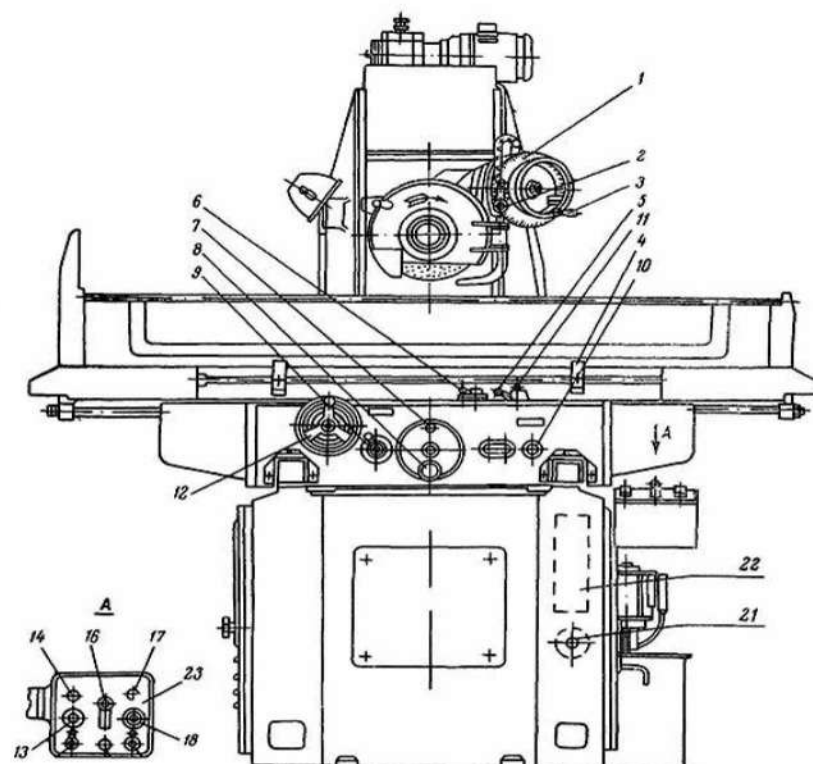


Рис. 3.2 Загальний вид верстату 3Г71

Ручне переміщення столу здійснюється від маховика через шестерні і рейку, закріплену на столі. При включенні тиску в гідросистемі шестерня 16 автоматично виводиться з зачеплення з рейкою.

Поздовжній реверс столу здійснюється від кулачка, закріпленого на столі, через шестерні. Шестерня посаджена на осі, пов'язаної з золотником управління гідропанелі ВШПГ-35[12].

Механізм кріпиться до переднього лівого крила супорта, переміщає стіл вручну маховиком через шестерні. При включенні механічного переміщення столу шестерню І необхідно вивести з зачеплення з рейкою

столу, для цього потрібно маховик і вал витягнути "на себе". Фіксація проводиться підпружиненою кулькою.

Механізм забезпечує:

- автоматичну поперечну подачу супорта
- ручну поперечну подачу
- прискорене переміщення супорта
- автоматичну вертикальну подачу шліфувальної головки на кожен поздовжній або поперечний хід столу
- ручну вертикальну подачу
- прискорене переміщення шліфувальної головки

Автоматична поперечна подача відбувається в момент поздовжнього реверсу столу за рахунок подачі імпульсу струму на електродвигун, з'єднаний через шестерні з гвинтом поперечної подачі. Зміна величини подачі проводиться поворотом перемикачів на пульті управління. Одним проводиться грубе налаштування поперечної подачі, іншим - тонке.

При роботі з автоматичною поперечною подачею і при прискореному переміщенні супорта маховик повинен бути за допомогою кнопки роз'єднаний з шестернею, а шестерня повинна увійти в зачеплення з шестірнею.

Автоматична вертикальна подача здійснюється від лопатевого гідроциліндра, що працює в момент поперечного або поздовжнього реверсу столу в залежності від положення тумблера.

На осі циліндра закріплений важіль з собачкою. Собачка може ковзати по заслінці або зачіпатися з храповим колесом. Храпове колесо скріплене з шестернею, яка через шестерню передає рух на вал черв'яка редуктора вертикальної подачі. Величина автоматичної подачі регулюється заслінкою 13, що перекриває зуби храпового колеса.

На кнопці повороту заслінки нанесені поділки величини встановлюється подачі.

Табл.3.1 Основні параметри профілометра

Вимірювальний параметр шорсткості	R_a
Діапазон вимірювання R_a , мкм	0,02 - 10
Верхні межі діапазонів, мкм	0,1; 1; 10
Характеристики основної приведенної погрішності	
1) Погрішність профілометра не повинна перевищувати %	2
2) Межа допустимої систематичної складає:	
для діапазону 0,1 мкм	10%
для діапазонна 1 і 10 мкм де R_a - значення вимірюваного параметра шорсткості, мкм $R_{a\delta n}$ - верхня межа даного діапазону вимірювання профілометра, мкм	$10 \times \frac{R_a}{R_{a\delta n}} \%$
3) Межа допустимого квадратичного відношення випадкової складаючої	2%
Мінімальний крок шорсткості вимірювальної поверхі, мм	0,004
Рівень шуму і внутрішньої вібрації по R_a не більше, мкм	0,01
Відсічка кроку	0,25; 0,8; 2,5
Швидкість просування датчика, мм/с	$1 \pm 0,04$
Довжина траси прошукування при вимірюваннях, мм	1,5; 3; 6
на глибину до 20 мм	6
на глибину до 130мм	16
Радіус кривизни вершини щупа, мкм	$10 \pm 2,5$

Щоб не обертався маховик при прискореному переміщенні шліфувальної головки, в механізмі передбачений мікроперемикач, який натискається при роз'єднанні шестерень і кнопкою, що знаходиться під маховиком, і тільки в такому положенні можна включити електродвигун прискореного переміщення.

3.3 Профілометр цеховий з цифровим відліком і індуктивним перетворювачем, модель 253

Для контролю якості поверхні після шліфування використовуємо профілометр, модель 253 призначений для вимірювання в цехових контрольних пунктах шорсткість поверхонь деталей, преріз яких в площині вимірювання являє пряму лінію.

Порядок роботи профілометра

1. Ввімкнути прилад в мережу.
2. Встановити межі вимірювання. Межі вимірювання вибираються мінімальними з перевищуваних очікуваних значень R_a
3. Встановити необхідні відсічки кроку. Якщо відсічка кроку не задана на кресленні контрольованої деталі, то вона встановлюється в залежності від очікуваного значення R_a .

Шорсткість	Крок відсічки
R_a , мкм	1, мм
До 0,4	0,25
Більше 0,4 до 3,2	0,8
Більше 3,2	2,5

4. Встановити необхідну довжину траси. Довжина траси вибирається в залежності від відсічки кроку.

Крок відсічки	Довжина траси
1,мм	L, мм
0,25	1,5; 3
0,3	3; 6
2,5	6

Необхідно знати, що повна довжина траси дорівнює $5/3$ довжини траси, вказаної на кнопках пульта, так як вона складається з попереднього ходу і траси інтегрування.

5. Увімкнути прилад.

Опустити датчик до положення при якому стрілка індикатора на пульту управління займе середнє положення. При роботі зі стійкою рекомендується користуватися гайкою з фіксаційним гвинтом. При роботі без стійки необхідно опускати підвіску привода за направляючою з фіксаційним гвинтом.

6. Натиснути кнопку «Пуск». Датчик повинен перемічатися по вимірюваній поверхні по напрямленій до приводу. Щоб переконатися що привід і датчик правильно встановлені відносно вимірювальної поверхні прослідкуйте за індикатором на всьому шляху руху датчик. Стрілка індикатора не повинна перевищувати межу вимірювання. У протилежному випадку необхідно уточнити установку до роботи, і повторити виміри. Після робочого ходу автоматично вимикається швидке повернення в початкове положення, а на таблі з'являється вимірне значення R_a . Якщо отримане значення може вклатися в менші межі вимірювання, необхідно переключити межі вимірювання і повторити вимірювання. Якщо на таблі загорівся сигнал перевантаження «Р», необхідно переключити межі вимірювання на більші та повторити вимірювання.



Рис 3.3 Вимірювання шорсткості поверхні заготовки профілометром після шліфування алмазним кругом

Представлені універсальні плоскошліфувальний верстат ЗГ71 та профілометр цеховий дозволили дослідити вплив параметрів та режимів шліфування для кругів Premium та CBN на органічній зв'язці виробника «Полтавський алмазний інструмент» ,результати яких представлені в наступному розділі магістерської роботи.

4.РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основним документом, що регламентує номенклатуру шліфувальних кругів, що випускає промисловість є ДСТУ 3292-95, який визначає вимоги по маркуванню інструмента, його геометричні форми та розміри ШК, матеріал зерна, його розмір, кількість, ступінь твердості круга, конструктивні параметри круга. Крім цього, даний стандарт регламентує допуски на розміри інструмента, величини радіального та торцевого биття круга, класи їх неврівноваженості та ін. параметри. В якості додатку до стандарту приведені показники надійності ШК: шорсткість обробленої поверхні $Ra(Rz)$, коефіцієнт шліфування K , що визначається за формулою:

$$K = \frac{Q_m}{Q_a},$$

де Q_m – об'єм знятого металу, мм^3 ;

Q_a – об'єм зношеної чистими кругами (з врахування втрат на правку), мм^3 .

Вказані параметри приведені для чотирьох видів шліфування: круглого зовнішнього врізного, безцентрового, внутрішнього врізного і плоского.

Розглянемо методи формування показників працездатності шліфувальних кругів. Будь який шліфувальний круг призначений для успішного виконання операцій шліфування, повинен забезпечити отримання деталі, що відповідає всім вимогам щодо креслення. З цієї точки зору, найбільш важливими показниками працездатності ШК є величини параметрів, обумовлені конструктором на кресленні деталі, основними з яких є:

- точність формованого розміру;
- шорсткість шліфованої поверхні Ra ;
- відсутність припіку.

Приведені показники являються результатом роботи шліфувального круга і досягнення їх певного рівня являється основною задачею експлуатації інструменту, основними вихідними параметрами якого є:

- марка шліфувального матеріалу;
- вид операції шліфування;
- застосування мастильно-охолоджувального технічного засобу MOT3.

Від марки шліфувального матеріалу залежать силові та температурні характеристики процесу шліфування. Дослідженнями встановлені залежності оброблюваності матеріалів шліфуванням від технологічних умов реалізації операції шліфування, включаючи схему шліфування та марки MOT3 і способу його подачі в зону шліфування.

Перераховані параметри експлуатації круга являються квазіпостійними та повинні бути враховані при прогнозуванні працездатності ШК.

Що стосується режимів шліфування, то вони являються перемінними на протязі всього часу експлуатації ШК і являються фактором управління процесом шліфування. Саме за рахунок зміни режимів шліфування досягається рівень експлуатаційних показників, а також параметрів експлуатації інструменту, яке необхідно враховувати при комплексній оцінці експлуатаційних властивостей шліфувального круга, який виглядає наступним чином:

Експлуатаційні показники:

- Точність формованого розміру, мм;
- Шорсткість шліфованої поверхні – R_a , мм;
- Параметри експлуатації квазіпостійні:
 - Марка шліфувального матеріалу;
 - Вид операції шліфування;

МОТЗ, які використовуються

Параметри експлуатації змінні:

Режими шліфування

Для безпосереднього визначення величини експлуатаційних показників необхідно виконати їх формалізацію, тобто зіставити кожний експлуатаційний показник з параметром процесу шліфування.

Так точність сформованого розміру залежить від величини сили шліфування, а оцінка точності розміру сформованої шліфувальним кругом поверхні залежить від величини складової сили шліфування – P_y .

Шорсткість шліфувальної поверхні, яка закладається конструктором, являється прямим параметром, що характеризує якість шліфованої поверхні деталі і позначається шорсткістю R_a .

Відсутність припіку на шліфувальній поверхні також характеризує якість її обробки. При комплексній оцінці працездатності ШК дана обставина може бути врахована параметрами режиму шліфування, перевищення яких призводить до виникнення припіку. Граничною умовою виникнення припіку є температура 600°C в заготовці на глибині 0,02 мм. [4].

Слід зазначити, що забезпечення необхідного рівня експлуатаційних показників, розглянутих вище, можливо в разі створення нормальних умов роботи абразивних зерен шліфувального круга, зокрема відсутності інтенсивного “засалювання” робочої поверхні. Обмеження по засалюванні для експлуатаційних кругів може бути враховано виразом [19]:

$$U(x) < K_H \cdot T_H,$$

де K_H – коефіцієнт, який залежить від матеріалу зерна і заготовки

$$K_H = (0,80 \dots 0,85) \quad ;$$

T_H – температура плавлення матеріалу.

Виходячи із розглянутого вище, в комплексні показники працездатності шліфувального круга входять наступні показники:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_y - \text{радіальна сила шліфування;} \\ Ra - \text{шорсткість поверхні;} \\ U(x) - \text{температура в зоні контакту ШК з заготовкою.} \end{array} \right.$$

Постійна складова параметрів експлуатації ШК повинна бути врахована у виді константи – які виходять з умов роботи ШК, в яких оцінюється працездатність. Змінні параметри експлуатації – режим шліфування – являється основним фактором управління процесом та встановлюється безпосередньо на верстаті шліфувальником чи оператором і є вихідним параметром при проектуванні операції шліфування.

Розглянуті питання обґрунтування та вибору типу шліфувальних кругів та параметрів режиму шліфування з врахуванням виду оброблюваного матеріалу, характеристики шліфувальних кругів та якості поверхні обробленої деталі, [6] дозволили застосувати їх при обґрунтуванні параметрів та режимів роботи Premium алмазних та CBN кругів виробництва ПАТ «Полтавський алмазний інструмент».

В 1966 році був побудований Полтавський завод по виготовленню штучних алмазів та алмазного інструменту. Українські вчені академії наук України, провідних наукових інститутів розробили унікальну технологію отримання штучних алмазів та виготовлення широкого спектру алмазного інструменту, продукція якого користується попитом, як на внутрішньому ринку, так і за кордоном. На сьогодні ПАТ «Полтавський алмазний інструмент» підприємство, яке спеціалізується на випуску широкого асортименту алмазного і CBN інструменту для шліфування і полірування деталей із твердих сплавів, жаростійких, легованих і нержавіючих сталей, скла, кераміки, кремнію, вогнетривких матеріалів, дорогоцінних каменів та інших матеріалів. Підприємство має сучасну виробничу базу з повним

спектром виробництва, якісні компоненти, висококваліфіковані кадри, що забезпечує випуск високопродуктивного шліфувального інструменту, як масового виробництва, так і у відповідності з індивідуальними вимогами замовника.

Шліфувальні круги серії Premium призначені для роботи на універсальних шліфувальних верстатах та обробних центрах фірм Vollmer, Walter, Anca, Michael Deckel та ін.

Спеціалісти товариства разом з науковцями та оптимізували методику вибору параметрів шліфувальних кругів та параметрів режимів їх роботи в залежності від оброблюваного матеріалу, заданої точності та шорсткості поверхні і максимальної продуктивності роботи.

Була проведена робота по встановленню відповідності алмазних порошків за ДСТУ 3292-95 зарубіжним стандартам та їх використання для відповідних видів обробітку (табл.4.1).

Табл. 4.1 Відповідність зернистості алмазних порошків по ДСТУ 3292-95 зарубіжними стандартами та їх використання по видах робіт

Вид обробітку	Стандарт України ДСТУ 3292-95, мкм	Позначення по міжнародному стандарту FEPA	Міжнародний стандарт ISO 565, мкм	Стандарт США ANSI B 74.16, мкм
Зернистість алмазних порошків				
Чорнове шліфування	400/315 315/250 250/200 200/160 160/125	Д 426 Д 301 Д 251 Д 231 Д 151	425/355 400/250 250/212 212/180 150/125	40/45 50/60 60/70 70/80 100/120
Тонке шліфування	80/63 63/50 50/40	Д 91 Д 76 Д 64 Д 54 Д 46	90/75 75/63 63/53 53/45 45/38	170/200 200/230 230/270 270/325 325/400
Чистове шліфування	125/100 100/80	Д 126 Д 107	125/106 106/90	120/140 140/170
Тонке шліфування, полірування	60/40 40/28 28/20 20/14 14/10 10/7 7/5 5/3	М 63 М 40 М 25 М 16 М 16 М 10 М 6.3 М 4.0		500 550 650 1110 1500 1700 3000 4000

Зернистість шліфувального круга вибираємо в залежності від типу зв'язки та заданої шорсткості обробленої поверхні Ra.

Рекомендовані зернистість круга для різних видів шліфування представлені в таблиці 2.

Табл. 4.2 Вибір зернистість круга при шліфуванні твердосплавних матеріалів

Тип Зв'язки	Рекомендований діапазон зернистість	Шорсткість обробленої поверхні Ra, мкм		
		При торцевому шліфуванні	При плоскому шліфуванні	При круглому шліфуванні
Органічна	Д 213 - Д 107 Д 91 - Д 46	0,63...0,16 0,32...0,16	1,0...0,32 0,63...0,16	1,0...0,32 0,63...0,20
Органічна(алмази з покриттям)	Д 126...Д 46	0,32...0,16	0,63...0,16	0,80...0,20
Органічна(алмази без покриття)	Д 126...Д 16	0,32...0,05	0,5...0,10	0,63...0,12
Металічна	Д 213...Д 126 Д 107...Д 91 Д 64...Д 46	1,0...0,32 0,50...0,16 0,32...0,16	1,25...0,63 1,00...0,32 0,63...0,16	1,25...0,63 1,25...0,40 0,63...0,32

Враховуючи основні характеристики шліфувальних Premium алмазних та CBN кругів і вид обробки розроблені режими шліфування, представлені в табл. 3.

Табл. 4.3 Рекомендовані режими роботи шліфувальними кругами із кубічного нітриду бору CBN

Вид обробки	Швидкість круга м/хв	Швидкість виробу м/хв	Повздовжня подача м/хв	Поперечна подача мм/под..хв	Глибинне шліфування мм/под..хід
Плоске шліфування					
Попереднє	20...35	-	5,0...7,0	1/5...1/3	0,03...0,05
Завершальне	20...35	-	3,0...5,0	Ширина шару	0,02
Виглажування	20...35	-	1,0...1,5	Ширина шару	Без подачі
Шліфування направляючих верстатів	20...35	-	2,0...6,0	-	0,005...0,010
Кругле шліфування					
Попереднє	20...35	10...20	0,5...1,0	-	0,002...0,010
Завершальне	20...35	8...10	0,5...1,0	-	0,002...0,005

Важливим фактором забезпечення працездатності шліфувальних кругів є концентрація алмазного порошку в алмазозоному шарі. Відносна

концентрація алмазу являється однією із важливих характеристик алмазного інструменту, яка забезпечує його ріжучу здатність, продуктивність, термін роботи. Вибір концентрації залежить від типу шліфувального круга, форми і розмірів робочої поверхні, зернистості алмазного порошку, стійкості, зв'язки та режимів обробітку. Як правило, шліфувальні круги випускаються з відотною концентрацією 25%, 50%, 75%, 100%, 150%. Об'єм, який займає алмазний порошок в алмазоносному шарі складає від 6,25% для відотної концентрації 25% до 25% при відносній концентрації 100%.

Режими різання вказані в таблиці 3.1 підбираються з врахуванням марки зв'язки, відотної концентрації алмазу, наявності МОТЗ, заданої шорсткості поверхні та продуктивності обробітку.

5.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Актуальність проблем безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Основні положення з охорони праці в Україні встановлені й регламентуються Конституцією України (основним законом), Кодексом законів про працю. Законом «Про охорону праці», а також розробленими на їх основі і відповідно до них нормативно-правовими актами (указами Президента, постанови уряду, правилами, інструкціями, стандартами та іншими документами).

Охорона праці (ОП) – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності;

Основа політики України в галузі ОП відображена в Законі України «Про охорону праці» зі змінами та доповненнями від 21 листопада 2002 року.

Основні принципи ОП:

- Пріоритет життя і здоров'я працівників відповідно до результатів виробничої діяльності підприємства;
- Повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- Соціального захисту працівників, повного відшкодування збитків, у тому числі і моральних, особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві й професійних захворювань;
- Встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності; навчання населення, професійна

підготовка і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

- Участь держави у фінансуванні заходів охорони праці;
- Використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і безпеки праці.

Всі норми, які стосуються ОП, поділяються на чотири групи.

Перша група, це створення безпечних умов праці ще на стадії проектування виробничих об'єктів. Стаття 24 Закону про «Про охорону праці» і стаття 154 Кодексу законів про працю, які забороняють приймання і введення в експлуатацію підприємств, цехів, дільниць, якщо в них не забезпечені необхідні безпечні умови праці. Машини, механізми та обладнання, транспортні засоби, технологічні процеси, що впроваджуються у виробництво, повинні мати сертифікати, які засвідчують безпеку їх використання.

Друга група норм (ст.159 Кодексу законів про працю, ст 17 і 20 Закону України «Про охорону праці») має гарантувати безпеку в період самого процесу виробництва, установлює порядок розробки, утвердження і застосування правил та інструкцій з охорони праці, обов'язки адміністрації щодо проведення навчання, а робітників і службовців – щодо виконання встановлених вимог.

Третя група норм регламентує порядок видачі й використання засобів індивідуального захисту й лікувально-профілактичного харчування (ст.165, 166, 167, «Кодексу законів про працю»). Деякі норми хоча безпосередньо і не регулюють правові відношення з охорони праці, але сприяють підвищенню їх рівня. Це такі як стаття 21 Закону «Про охорону праці» і стаття 62 «Кодексу законів про працю», які регулюють порядок виділення і використання коштів на охорону праці. Статті 169-170 «Кодексу законів про працю» і стаття 19 Закону «Про охорону праці» передбачають обов'язковий медичний догляд

певних категорій працюючих і переведення їх за станом здоров'я на легшу роботу відповідно до медичного заключення тимчасово або без обмеження строку.

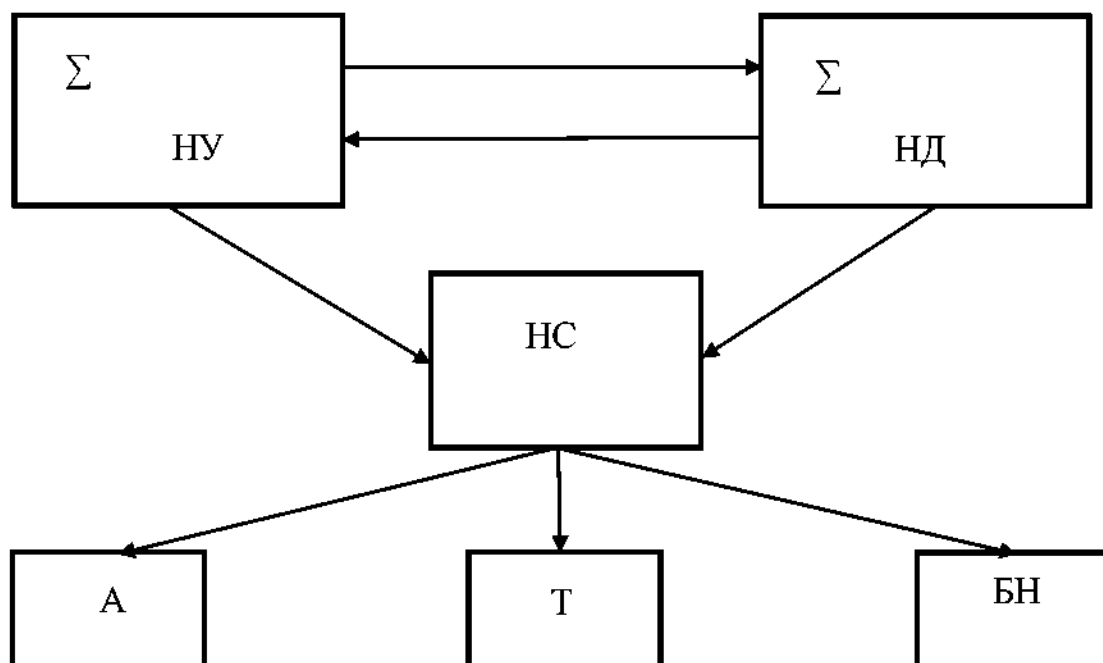
Четверта група норм визначає загальний і спеціальний нагляд та контроль, за дотриманням законодавства про працю, а також відповідальність за його порушення (ст. 259-265 «Кодексу законів про працю» і ст. 39-48 Закону України «Про охорону праці»).

5.2 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Небезпечні умови, які існують чи виникають на виробництві, поділяються на такі групи:

- Стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- Умови які спонукають робітника допускати помилки у процесі шліфування, низька кваліфікація робітника та рівень знань з охорони праці;
- Умови при яких можливе проникнення працюючого у небезпечну робочу зону в наслідок відсутності контролю за дотриманням правил з охорони праці. Будь-яке порушення цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, небезпечного фактору визначається як травма. Якщо внаслідок аварії технічної системи з'явилися травми у людей, то випадок необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це відноситься до таких систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина одночасно. Якщо при роботі таких систем з ладу вийшла машина, припинивши свої функції внаслідок руйнування деталей або самої машини, і призвело до значного матеріального

збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією. Схема процесу утворення небезпечної ситуації та її можливих наслідків для випадків, коли пріоритетними є небезпечна умова або небезпечна дія, об'єднує найпростіші варіанти перебігу подій (рис.5.1). Небезпечна дія НД в умовах виробництва стає причиною виникнення небезпечної умови НУ з наслідками у вигляді небезпечної ситуації, аварії, або травми. Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС): аварія(А), травма(Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.



НУ – небезпечна умова; НД – небезпечна дія; НС – небезпечна ситуація; Т – травма; БН – наслідок без аварії і травм

Рис.5.1 – Блок-схема взаємозв'язків між небезпечними подіями у процесі формування та виникнення небезпечних ситуацій.

Таблиця 5.1 – Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій при обробці матеріалів шліфуванням

Вид робіт, виробничий підрозділ, робоче місце, виробниче обладнання, склад агрегату	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
Шліфування поверхні	Низька класифікація робітника	Неправильне встановлення шліфувального круга	Розрив шліфувального круга і травмування робітника	Травма, поломка інструмента	Навчання робітника, проведення позапланового інструктажу охорони праці

Висновки

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Встановлені граничні умови можливості виникнення явища припіку оброблюваної поверхні та засалювання шліфувального круга. Граничною умовою виникнення припіку є температура 600 °С на глибині 0,02 мм.

2. Встановлений рекомендований діапазон зернистості для забезпечення заданої шорсткості Ra при різних видах шліфування та при різних типах зв'язки круга. Так мінімальна шорсткість обробленої поверхні Ra 0,10 досягнута при плоскому шліфуванні алмазними кругами з діапазоном зернистості Д 126...Д 16 на органічній зв'язці.

3. Вибраний оптимальний режим роботи шліфувального круга із кубічного нітриду бора CBN для різних видів обробітку та забезпечення оптимальної шорсткості обробленої поверхні. При цьому швидкість круга

складає 20...25 м/с, глибина шліфування від 0,03 мм при попередньому шліфуванні до 0,02 мм при завершальному шліфуванні, повздовжня подача від 7,0 м/хв., при попередньому плоскому шліфуванні до 3,0 м/хв. при завершальному плоскому шліфуванні.

Перспективи подальших досліджень. Являється доцільним продовжити дослідження впливу параметрів режиму шліфування на якість(шорсткість) поверхні для конкретних типів шліфувальних кругів при обробці різних сталей. Спільна робота науковців Полтавського державного аграрного університету з провідними технологами ПАТ «Полтавський алмазний інструмент» забезпечить оптимізацію вибору параметрів режиму різання шліфувальних кругів заводу виробника та їх успішне використання в галузевому машинобудуванні.