

**ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра будівництва та професійної освіти**

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти  
« магістр »

на тему: «Дослідження формування мікропрофілю силікатних покриттів деталей  
після шліфування»

КРМ.133ГМд\_24.15.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-  
професійною програмою  
Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 133 Галузеве  
машинобудування  
ступеня вищої освіти «магістр» групи  
133ГМд\_24  
Северин Олег Вікторович  
Керівник: д.т.н., професор Горик О.В.

**Полтава – 2023 року**

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 5 розділів, 20 рис., 11 табл., 46 літературних джерел, 63 сторінок.

**Об'єктом розробки** вибрано технологічний процес виготовлення силікатних сталевих деталей.

**Предметом дослідження** є встановлення основних закономірностей круглого зовнішнього шліфування і формування мікропрофілю поверхні при виготовленні силікатних сталевих валів.

**Метою кваліфікаційної роботи магістра** є дослідження впливу режимів зовнішнього шліфування сталевих емальованих деталей циліндричної форми синтетичним алмазним інструментом на якість поверхні силікатних покриттів.

**Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра** – на підставі проведених досліджень в роботі доведена принципова можливість використання алмазного шліфування при виготовленні сталевих емальованих деталей, які виконані у вигляді циліндричних стержнів.

У **першому розділі** розглянуті фізико-механічні властивості силікатних покриттів та особливості шліфування алмазними кругами різною зернистістю металевих виробів.

У **другому розділі** запропоновано математичну модель утворення порсткості обробленої поверхні в процесі круглого зовнішнього алмазного шліфування.

У **третьому розділі** представлена загальна методика проведення експериментів, описаний експериментальний зразок подрібнювача, прилади та вимірювальна апаратура, що використовуються при дослідженнях, викладені методики досліджень та обробки експериментальних даних.

У **четвертому розділі** викладено результати експериментальних досліджень та перевірки відповідності теоретичних залежностей отриманим даним.

У **п'ятому розділі** розглянуті питання екологічної безпеки та запропоновані заходи з охорони праці, зроблений аналіз техніко-економічного обґрунтування

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування подрібнювача стеблових кормів.

**Практичні результати роботи** – полягають у забезпеченні можливості, на основі отриманих експериментальних даних, комплексно оцінювати вплив технологічних режимів алмазного шліфування на якість поверхні силікатних матеріалів для виготовлення точних силікатних валів..

**Рекомендації щодо використання результатів роботи** – розроблені технологічні рекомендації щодо виготовлення сталевих силікатних деталей циліндричної форми, що можуть бути використані для вузлів тертя ковзання машин та агрегатів агропромислового призначення.

**Сфера застосування результатів роботи** – хімічне, агропромислове і машинобудівне виробництво.

Основні результати роботи обговорювалися на студентських наукових конференціях Полтавського державного аграрного університету.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 9 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу Unicheck: унікальність тексту – 85,7%.

#### АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена прикладним дослідженням технологічного процесу алмазної обробки сталевих емальованих деталей, які виготовлені з вуглецевої сталі і мають захисне силікатне покриття.

ВУГЛЕЦЕВА СТАЛЬ, СИЛІКАТНЕ ПОКРИТТЯ, ЕМАЛЮВАННЯ, ШЛІФУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ, ШОРСТКІСТЬ, ДЕТАЛІ МАШИН.

#### ANNOTATION

The master's qualification work is devoted to applied studies of the technological process of diamond processing of steel enameled parts, which are made of carbon steel and have a protective silicate coating.

CARBON STEEL, SILICATE COATING, ENAMELING, GRINDING, TECHNOLOGICAL MODES, ROUGHNESS, MACHINE DETAILS.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1 Фізико-хімічні властивості силікатних емалей .....	8
1.2 Особливості алмазного шліфування.....	11
1.3 Якість поверхні обробленої синтетичними алмазами .....	13
1.4 Висновки до розділу .....	17
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Розробка математичної моделі.....	23
2.2 Розробка математичної моделі визначення параметрів шорсткості обробленої поверхні в процесі шліфування .....	24
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	29
3.1 Експериментальні зразки для проведення досліджень.....	29
3.2 Методика дослідження шорсткості оброблюваної поверхні .....	31
3.2.1 Режими шліфування.....	31
3.2.2 Параметри якості оброблених поверхонь.....	33
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	38
4.1 Макро- і мікрогеометрія силікатних покриттів .....	38
4.2 Вплив режимів шліфування на шорсткість силікатних поверхонь.....	40
4.3 Висновки до розділу .....	48
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК.....	49
5.1 Перспектива застосування .....	49
5.2 Екологічна експертиза розробки.....	50
5.3 Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій .....	51
5.4 Техніко-економічне обґрунтування розробки.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	60

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Використання силікатних матеріалів як захисного склоподібного покриття для металічних виробів, отриманого шляхом емалювання, знаходить усе більш широке розповсюдження. Пояснюється це дешевизною, широким розповсюдженням та легкодоступністю сировини, що необхідна для отримання склоподібних покриттів; малою тривалістю та високою рентабельності процесу емалювання; високими експлуатаційними й декоративними властивостями емальованого металу [1].

Створення валів для опор ковзання з маловуглецевих сталей, які захищені покриттями – емалями, дало можливість значно зменшити вартість та збільшити зносостійкість вузлів тертя ковзання сільськогосподарського устаткування.

Аналіз літературних джерел показав, що високоточні емальовані деталі, зокрема вали, не виготовляють.

У зв'язку з цим освоєння шліфування валів покритих емаллю має велике практичне значення.

**Метою дипломної роботи** є дослідження впливу режимів зовнішнього шліфування сталевих емальованих деталей циліндричної форми синтетичним алмазним інструментом на якість поверхні силікатних покриттів.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні задачі:

1. Вивчення стану питання щодо ефективності застосування силікатних покриттів для захисту від корозії виробів машин.
2. Встановлення розрахункових залежностей шорсткості поверхні від технологічних режимів круглого зовнішнього шліфування сталевих силікатних деталей синтетичним алмазним інструментом.
3. Проведення експериментальних досліджень впливу зовнішнього шліфування на якість поверхні силікатних покриттів деталей циліндричної форми.
4. Встановлення раціональних режимів круглого зовнішнього шліфування.
5. Розробка практичних рекомендацій щодо реалізації результатів роботи.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення силікатних сталевих деталей.

**Предмет дослідження** – основні закономірності круглого зовнішнього шліфування і формування шорсткості поверхні при виготовленні силікатних сталевих валів.

**Наукова новизна:**

1. Встановлені раціональні технологічні режимами круглого зовнішнього шліфування сталевих силікатних деталей типу тіл обертання синтетичним алмазним інструментом.

2. Досліджено вплив зернистості синтетичного алмазного інструменту на якість поверхні емальованої деталі.

**Теоретична та практична значущість:** полягає у забезпеченні можливості, на основі отриманих експериментальних даних, комплексно оцінювати вплив технологічних режимів алмазного шліфування на якість поверхні силікатних матеріалів для виготовлення точних силікатних валів.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Фізико-хімічні властивості силікатних емалей

Емальовані захисні покриття все більше знаходять широке використання в різних галузях сільського господарства України. Вони дозволяють поєднувати в різних складових машин та виробів корозійну, термічну і абразивну стійкість та міцність металу силікатної емалі. Металеві вироби на поверхню яких нанесено певну товщину емальованого покриття називають силікатними деталями, а сам процес на поверхні металевих виробів називають емальованням [5]. Найбільш широко для емальовання використовують низьковуглецеву сталь, що часто використовується в сільськогосподарському господарстві. Розглянемо в цьому плані деякі теплофізико, а також хімічні властивості емалей та сам процес емальовання. Необхідно згадати, що до сьогодення процес емальовання використовувався тільки для вільних поверхонь металевих виробів.

Найбільш простою і найбільш розповсюдженою технологією емальовання сталевих деталей, являється технологія, яка передбачає мокрий спосіб нанесення емалевого шлікеру на поверхню виробу [6]. Згідно цієї технології, емальовий лікер являє собою водну суспензію емалевої фритти, яка заправлена глиною і яку наносять на поверхню металевих виробів, що попередньо був очищений, шляхом занурення, наливання або пульверизації невеликим шаром товщиною близько 0,15-0,20 мм. Далі виріб висушують і піддають термічній обробці в режимі випалу при температурі 1100-1200 К. В результаті високої температури шлікер розплавлюється і утворює на металевій поверхні деталі тонкий шар склоподібної маси. Дану операцію оплавлення шлікеру та нанесення повторюють декілька разів, з метою нарощування покриття до товщини 1,2-2,0 мм, що забезпечує суцільність силікатного шару.

Захисне емальоване покриття складається із двох різнорідних шарів:

- емалі для ґрунтування, яка забезпечує міцне зчеплення покриття з металевою основою;
- покриттєвої емалі, що міцно схоплюється з ґрунтовим покриттям та утворює

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхневий шар стійкий до різних корозійних середовищ із абразивними часточками. Необхідно відмітити, що за швидкістю корозійного руйнування лише деякі метали, наприклад, золото, платина, та деякі нікель-хромо-молібденові сплави можуть позмагатися із силікатними покриттями. Проте вартість цих приведених металів і сплавів в порівнянні із емалями досить висока згідно [7-8].

У процесі формування захисного склоподібного шару при температурі 1100...1200К між металевою основою, складовими компонентами шлікеру і пічними газами відбувається фізико-хімічна взаємодія в результаті якої зникає чітка межа між металом та ґрунтом, а також між рештою покривних шарів. Вуглець, що міститься в поверхневому шарі металу, взаємодіє з окислами металів, що входять до складу емалі, й окислюється. Крім того, продовжується обезводнення силікатного покриття, що формується, та взаємодія води, як виділяється, з металом, в результаті чого утворюється водень. Газоподібні продукти окислення вуглецю та водню, котрі виділяються, прориваючись крізь в'язкий шар розм'якшеної емалі в атмосферу, частково затримуються в ньому, утворюючи газові бульбашки. Характер розміщення газових бульбашок у силікатному покритті вивчений недостатньо. Також мало досліджений і вплив газових бульбашок на фізико-хімічні властивості захисного шару силікатної емалі [9, 10].

Густина силікатних покриттів коливається в заданих межах від 2300 до 2600 кг/м<sup>3</sup>. Вони є непроникними для газоподібних і рідких агресивних середовищ. Їх модуль пружності змінюється залежно від хімічного складу та мікроструктури емалі від 60·10<sup>3</sup> до 120·10<sup>3</sup> МПа. Внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення емалі й металу, силікатні покриття перебувають у напруженому стиснутому стані. На величину напруження стиску, що становить 100-300 МПа, великий вплив здійснює товщина покриття і металу, а також геометрична форма емальованого виробу. Міцність емалі на розтяг залежить від внутрішніх термічних напружень у захисному шарі емалі та змінюється від 40 до 100 МПа. На стиск емальовані покриття працюють у 15-20 разів краще, ніж на розтяг. Міцність емалей на стиск знаходиться в межах 800-1500 МПа. Міцність силікатних покриттів на згин змінюється від 150 до 300 МПа і визнається в

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основному структурою емалі. Ударна міцність силікатних покриттів залежить від хімічного складу і мікроструктури захисного шару та становить від 80 до 22МПа, що в 10 - 30 разів більше ніж для монолітних деталей із металу. Емальовані покриття є достатньо твердими (їх мікротвердість становить ~ 6500...9500МПа) і тому добре чинять опір абразивному зносу. Вони здатні зберігати вказану твердість при високих температурах ~ 700...1100К [11] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні властивості силікатних покриттів

№	Найменування фізико-механічних властивостей	Одиниці виміру	Вид силікатного покриття	
			Вихідне склоподібне	Термооброблене склокристалічне
1	Модуль пружності	МПа	$(60...100) \cdot 10^3$	$(80...120) \cdot 10^3$
2	Границя міцності при згині	МПа	150...200	200...300
3	Мікротвердість	МПа	6500...8000	8000...9500
4	Ударна міцність	МПа	80...110	170...220
5	Абразивний знос	відносна	2...3	1
6	Максимальна робота температура	К	700...900	900...1100

Для емальовання металічних виробів залежно від умов експлуатації знаходять застосування різні кисло-, лужно і кислотолужні емалі, що можна поділити на види: скловидні та склокристалічні (ситалові). Скловидні покриття мають аморфну (склоподібну) будову. Мікрокристалічна фаза, яка утворюється в процесі емальовання та визначає непрозорість покриття, суттєво не впливає на його фізичні і механічні властивості.

Склокристалічні покриття з'явилися на початку 60-х років 20 ст. Першим матеріалом такого типу був «Нуцерит», розроблений американською фірмою «Пораудлер» [12]. Нині вітчизняними вченими розроблені та успішно впроваджується в промисловість декілька видів склокристалічних емалей. Ними покривають вільні поверхні корпусів біологічних апаратів і хімічних реакторів,

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосів для перекачування агресивних рідин, трубопровідну арматуру, направляючі лопатки турбін, мішалки реакторів тощо [13-14].

Перешкодою до широкого використання силікатних виробів круглої форми в якості спряжених є їх невисока розмірна точність поверхонь (ситалів). Інтенсивне газовиділення з металевої основи під час емалювання та текучість при випалі захисного шару, призводять до утворення різної товщини силікатного покриття, що становить близько 200-300 мкм. Унаслідок цього розміри по циліндричній поверхні відрізняються від номінальних на  $\pm 0,2-0,3$  мм. Тому зрозуміло, що деталі з такими допусками не можуть бути використовувати в якості спряжених у вузлах тертя ковзання машин і деталей різних галузей промисловості. Надати цим спряженим поверхням силікатних виробів типу валу високу точність поверхні й відповідну шорсткість поверхонь на практиці можливо тільки з використанням операції шліфування. Відомо, що обробка абразивом силікатних матеріалів найбільше ефективна за допомогою алмазного інструменту згідно [15].

Під час шліфування силікатних деталей відбувається зчісування глибинних шарів силікатного покриття. Але даних щодо корозійної та абразивної стійкості глибинних шарів силікатних покриттів в літературних джерелах висвітлено досить мало, що вимагає проведення досліджень по обробці абразивом силікатних поверхонь.

## 1.2 Особливості алмазного шліфування

Алмазне шліфування являється абразивним процесом під час якого відбувається масове швидкісне мікрорізання або дряпання поверхневого шару тіла великою кількістю алмазних зерен, що закріплені з використанням зв'язки в інструменту. Даний процес відбувається при швидкостях, які становлять не більше 50 м/с. Внаслідок такого процесу, що відбувається при встановлених режимах, оброблена поверхня набуває високу точність і чистоту [16].

З фізичної точки зору процес алмазного шліфування, згідно з

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дослідженнями М.І. Богомолова [15], Е.М. Маслова [16], М.М. Трусова [17] та інших, є аналогічним до процесу механічного зносу при терті, але на відміну від останнього характеризується керованим інтенсивним зняттям матеріалу за одиницю часу.

Реалізація процесу зняття найтонших стружок при алмазному шліфуванні вимагає забезпечення високої точності та жорсткості шліфувального обладнання, що стосується перш за все механізмів обертання шпинделя і подач.

Алмаз, що має як різальний матеріал низку переваг, володіє таким недоліком – графітується при температурі 1070 – 1100 К. Отже, режимам обробки та охолодження при алмазному шліфуванні слід приділяти велику увагу. Як мастильно-охолоджуючі рідини при алмазному шліфуванні крихких матеріалів найбільш широко застосовують 3% -ний водний розчин кальцинованої солі.

У результаті проведених досліджень встановлено, що залежно від матеріалу, який обробляється й умов обробки матеріал абразивних зерен у процесі різання піддається наступним видам зносу: адгезійно-втомному, абразивному і дифузійному. Слід відмітити, що в більшості практичних випадків має місце комбінований знос.

Усі без винятку елементи взаємодіють з вуглеводнем, завдяки фізичним силам дисперсійної взаємодії (силам Ван дер-Ваальса). При обробці різних матеріалів алмазними кругами здійснюється безпосередній контакт алмазних зерен з поверхнею, що обробляється. В контактній зоні створюються високі миттєві температури та тиски різання, котрі сприяють фізико-хімічній взаємодії дифундуючого вуглеводу (графітуючого алмазу) з матеріалом, що обробляється.

При шліфуванні алмазними кругами залізовуглецевих сплавів, нікелю, кобальту домінуючим видом зносу різальних кромок шліфувальних кругів є дифузійний знос. Насичення поверхневого шару швидкорізальних сталей дифундуючим вуглецем алмазного інструменту та утворення в ньому дрібно-дисперсійних карбідів спостерігали деякі дослідники. Про вплив алмазного шліфування на фізико-механічний стан поверхневих шарів деталей із сталей і

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сплавів 40Х, Х18Н10Т, ШХ15 показано в роботі [18]. Проведений у ній аналіз засвідчує, що після алмазного шліфування, яке характеризується порівняно низькими температурами та невеликим тиском, спостерігається дифузія вуглецю зовні в матеріал, котрий обробляється. Це викликає зміни структурного та напруженого стану поверхневого шару оброблюваних деталей.

Авторами [19] встановлено, що в межах температур, що становлять 800-1500 К протікають хімічні реакції між алмазом та окислами металів, які входять до складу скла.

Оксиди перехідних металів згідно з експериментальними даними авторів [20], взаємодіють із алмазом і утворюють карбіди, а не з виділенням чистого металу. Встановлено, що карбід кремнію є більш стійкішим ніж двоокис кремнію в абразивному чи хімічно активному середовищах, і є основним складоутворюючим компонентом емалей.

Тому природно допустити, що при алмазному шліфуванні силікатних деталей, коли миттєві контактні температури будуть більшими за 800К, у поверхневому шарі силікатного покриття можливі утворення карбідів кремнію. В цьому випадку вірогідно буде спостерігатися підвищення абразивної та корозійної стійкості шліфованого покриття у порівнянні з вихідними. Однак це припущення потребує експериментальної перевірки.

### 1.3 Якість поверхні обробленої синтетичними алмазами

Нами був проведений інформаційний пошук, в результаті якого не було виявлено багато робіт, пов'язаних із дослідженням процесу шліфування силікатних поверхонь металевих виробів. Тому потрібно розглянути вплив обробки на якість поверхні виробів із твердих або крихких матеріалів, які за своєю природою являються подібними до силікатними покриттів.

Встановлено, що різні методи механічного обробітку здійснюють безпосередній, властивий лише для даного методу, вплив на геометричні параметри формування поверхні та фізичні властивості поверхневого шару

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробу [21].

Виникнення нерівностей поверхні при обробці абразивними інструментами зумовлюються геометричними факторами, пластичними або пружними деформаціями і вібраціями системи: верстат–пристосування–інструмент–деталь. Переважаючий вплив тієї чи іншої групи причин визнає в кінцевому рахунку характер, розміри та висоту нерівностей профілю обробленої поверхні.

При розгляді впливу геометричних факторів утворення нерівностей профілю прийнято трактувати як копіювання траєкторій руху ріжучих кромek інструменту. З цієї точки зору, величина, форма та взаємне розташування нерівностей профілю визначається формою різальних кромek і тими умовами різання, що впливають на траєкторію її руху відносно поверхні, що обробляється. При круглому зовнішньому шліфуванні до геометричних факторів слід віднести розміри абразивних зерен, їх форму й відстань між ними, режим правки круга, швидкість деталі, поздовжню подачу та кількість ходів круга без поперечної подачі.

Важливою умовою забезпечення заданих геометричних параметрів оброблюваної поверхні є вибір зв'язки, концентрації та зернистості алмазних кругів. Установлено, що для обробки матеріалів на основі двоокису кремнію раціональними є алмазні круги на металічні зв'язці [21].

Чистота обробленої поверхні твердого сплаву при шліфуванні кругами з великою концентрацією алмазів трохи вище, ніж при шліфуванні кругами з меншою концентрацією. Пояснюється це тим, що в формуванні геометрії оброблюваної поверхні бере участь більша кількість зерен і кожне із них працює з меншою товщиною шару, що зрізується. Однак при шліфуванні керсилу, технічного та кварцового скла, як показали дослідження співробітників Московського авіаційного інституту, шорсткість поверхні робиться гіршою із збільшенням концентрації алмазів, але ефективність процесу збільшується. Згідно з інформаційними даними Інституту надтвердих матеріалів, для керамічних матеріалів та скла рекомендуються шліфувальні круги з концентрацією алмазних зерен не нижче від 100%.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При шліфуванні матеріалів алмазними кругами різною зернистістю шорсткість обробленої поверхні змінюється в широких межах, приведених в таблиці 1.2.

Результати приведених з таблиці експериментів вказують, що питома витрата, тобто спрацювання, алмазів є мінімальною під час шліфування технологічного скла або ситалу кругами з синтетичного алмазу АСВ. Використання алмазних кругів марки АСВ дають можливість отримати чистоту обробленої поверхні виробів 7 класу шорсткості.

Таблиця 1.2 – Утворена шорсткість поверхні матеріалів після алмазного шліфування

Параметр шорсткості	Зернистість алмазних кругів							
	200/160	160/125	125/100	100/80	80/63	63/50	50/40	40/28
$R_a$ , мкм	1,6...2,2	1,2...1,6	1,0...1,4	0,9...1,2	0,6...0,9	0,5...0,6	0,4...0,5	0,3...0,4

Дослідженнями встановлено, що найбільш ефективно охолодження при алмазній обробці крихких матеріалів на основі двоокису кремнію забезпечують водні розчини кальцинованої соди (1...3%) та екстрадіолу (1...2%), які необхідно подавати в зону шліфування в кількості 8...10л/хв. [22].

Як видно з викладеного вище, на шорсткість поверхні деталей з неметалевих матеріалів на основі двоокису кремнію здійснюють великий вплив режими алмазного шліфування. Ступінь впливу кожного з них для різних матеріалів є різною. Разом з тим, якщо всі дослідники відмічають, що при круглому зовнішньому шліфуванні матеріалів на основі двоокису кремнію із збільшенням поперечної та поздовжньої подачі шорсткість поверхні збільшується, то про вплив колових швидкостей шліфувального круга та деталі на шорсткість поверхні немає єдиної думки [16].

Для алмазних зерен шліфувального круга поширюється і вглиб матеріалу, що обробляється. Оброблена деталь з твердою та крихкого матеріалу має поверхневий шар визначеної товщини, який пошкоджений тріщинами, так званий тріщинуватий або дефектний шар.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Силікатні покриття мають значні внутрішні напруження стиску, величина яких коливається від 100 до 300 МПа. Експлуатаційні властивості силікатних виробів значною мірою зумовлені величиною внутрішніх напружень, їх знаком і характером розподілу. Широкі дослідження з метою визначення напружень у двошаровій системі «емаль–метал» виконані вітчизняними [25] та зарубіжними вченими [26]. Але дослідження, що присвячені впливу шліфування на характер розподілу залишкових напружень у поверхневому шарі силікатних матеріалів, нам виявити не вдалося. Предметом вивчення мікронапружень, що виникають при шліфуванні, є переважно метали і їх сплави.

Залишкові напруження є причиною значного зменшення довговічності деталей машин [27]. Тому питання, пов'язані із вивченням природи залишкових напружень, їх величини та розподіленням у деталі, завжди привертала увагу дослідників. Тут у першу чергу слід назвати роботи Л.А. Гликмана , А.А. Маталіна [28], П.І. Ящерицина, де визначена роль теплових явищ при формуванні напружень. Деякі праці акцентують увагу на дії режимів шліфування і теплового стану зони контакту на тріщину утворення, що є непрямим підтвердженням впливу цих факторів на величину залишкових напружень [29].

При алмазному шліфуванні конструкційних матеріалів у поверхневому шарі відбуваються структурно-фазові зміни, пов'язані з дифузією вуглеводню (графітизуючого алмазу) в матеріал, що обробляється [24]. Установили, що мікротвердість поверхневого шару швидкоріжучої сталі після обробки корундовим кругом становить 7850МПа, а після обробки алмазним кругом – 8690МПа. Алмазна доводка підвищує мікротвердість у середньому на 1020МПа. Таким чином, наявне значне зміцнення поверхневого шару після алмазної обробки, що сприяє збільшенню його зносостійкості. Товщина шару підвищеної мікротвердості після алмазної обробки становить 18 - 22мкм.

Однак, як установив Хіліг В.Б [25], плавлений кварц безпосередньо під індентором, тобто в місці зміцнення, порівняно стійких навіть до дії плавикової кислоти. Тому твердження, що силікатні покриття не є електропровідним, дають змогу вважати, що можливе зміцнення поверхневого шару емалі в процесі

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алмазного шліфування не відобразиться на її корозійній стійкості.

#### 1.4 Висновки до розділу

Приведені результати інформаційного пошуку дозволяють зробити наступні висновки:

- емалі є одним із найбільш ефективних способів захисту від корозії поверхні виробів із металу;

- перспективним є використання емалей, що володіють добрими механічними властивостями, високою абразивною, корозійною і термічною стійкістю, для захисту спряжених поверхонь виробів машин та апаратів, які працюють у вузлах тертя при підвищеній температурі у хімічних середовищах та піддаються досить значним навантаженням;

- обробка найважливіших сучасних конструкційних матеріалів на основі двоокису кремнію, до яких належать і емалі, що приплавлені до металічної основи, можлива практично лише за допомогою абразивного та алмазного інструментів;

- відомо, що при алмазному шліфуванні відбувається фізико-хімічна взаємодія між алмазними зернами та оброблюваним матеріалом, в результаті чого мікротвердість поверхневого шару підвищується, зносостійкість шліфованої поверхні збільшується;

Виходячи з аналізу літературних даних, для вирішення поставленої технічної задачі, що стосується виготовлення сталевих емальованих деталей циліндричної форми високої розмірної точності для машин сільськогосподарського призначення шляхом застосування алмазного шліфування, необхідно дослідити в першу чергу вплив режимів круглого зовнішнього шліфування сталевих емальованих деталей синтетичним алмазним інструментом на якість поверхні силікатних покриттів.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Розробка математичної моделі

Математичною моделлю, що описувала зв'язок між режимами шліфування та шорсткістю обробленої силікатної поверхні, а саме  $R_a = f(v_k, v_g, S, t)$ , біло прийнято математичну залежність, що широко використовується в технології машинобудування:

$$R_a = c v_k^p v_g^q S^m t^n, \quad (2.1)$$

де  $c$  – коефіцієнт пропорційності;

$v_k$  – колова швидкість шліфувального круга;

$v_g$  – колова швидкість оброблюваної деталі;

$S$  – поздовжня подача;

$t$  – поперечна подача на один подвійний хід стола;

$p, q, m, n$  – показники степені.

Шорсткість досліджуваних зразків оцінювали з використанням профілограм, що знімали за допомогою профілографа моделі 201 при вертикальному збільшенні  $\times 200$ . Обробку отриманих профілограм проводили відповідно до вказівок приведених в джерелі [32].

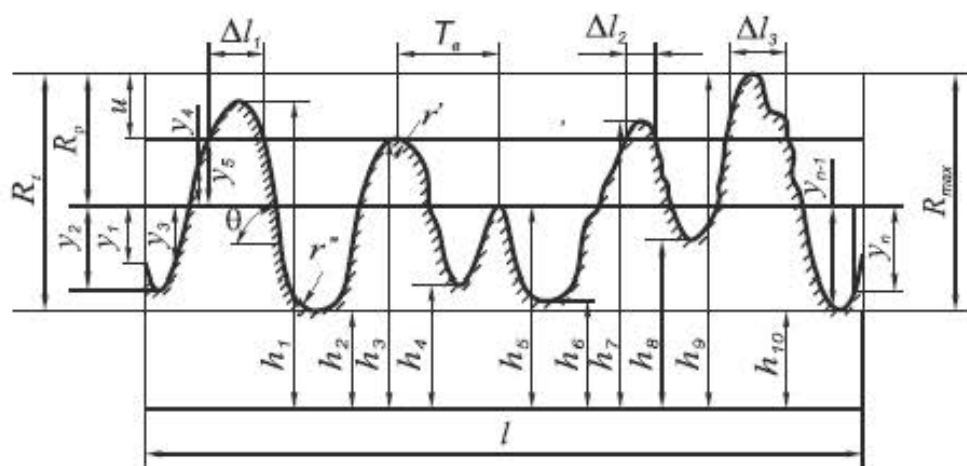


Рисунок 2.1 – Профіль утвореної поверхні із позначеннями елементів

Профілограми оброблялися слідуючим чином: на контурі в межах базової довжини проводили три горизонтальні лінії, а саме, лінію виступів через вершину

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

виступаючої нерівності, лінію западини через дно найбільше розміщеної западини (не врахували грубі одиничні нерівності від порожнин газових пазурів, що затверділи) та середню лінію (див. рис. 2.1).

## 2.2 Розробка математичної моделі визначення параметрів шорсткості обробленої поверхні в процесі шліфування

Аналітично функціональну залежність середнього арифметичного відхилення мікропрофілю емальованої поверхні від режимів алмазного шліфування можна подати таким рівнянням:

$$R_a = f(v_k, v_g, S, t) = \alpha^3 f(v_k) f(v_g) f(S) f(t), \quad (2.2)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, величин якого залежить від властивостей обробленого силікатного покриття (табл. 2.1);

$$f(v_k) = kv_k + a, \quad f(v_g) = l(v_g - v_g^0)^2 + b, \quad f(S) = mS^2 + c, \quad f(t) = n(t - t_m)^2 + d.$$

В оцінюванні коефіцієнт пропорційності  $\alpha$  рівняння (2.2) має місце деяка невизначеність, що є наслідком проведення дослідів в умовах взаємодії значної кількості факторів при сильних обмеженнях на діапазоні зміни незалежних змінних.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнт пропорційності  $\alpha$

Зернистість інструмента	Марка покриття		
	81		
АСВ 125/100	0,715		

Враховуючи стохастичний характер реального виробничого процесу, необхідні залежності та зв'язки між параметрами шорсткості обробленої поверхні та режимами шліфування можуть бути встановлені на основі застосування методів математичної статистики. Для визначення цих зв'язків використовували повний факторний експеримент при шліфуванні зразків зі склокристалічним покриттям марки 12. Вибір експериментальної ділянки факторного простору проводили на основі ретельного аналізу апріорної інформації, що отримана в ході

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведення одно факторних експериментів.

Після логарифмування рівняння (2.1), яка є математичною моделлю для опису зв'язку між параметрами шорсткості обробленої поверхні та режимами шліфування, отримали рівняння

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4, \quad (2.3)$$

де  $y = \ln R_a$ ;

$x_1, x_2, x_3, x_4$  – відповідно натуральні логарифми окремих режимів шліфування  $v_k, v_g, S, t$ ,

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – параметри рівняння.

Відповідно [36] прийняли план повного факторного експерименту типу  $2^n$  (де  $n$  – число незалежних змінних, а 2 – число рівнів, на яких фіксували значення незалежних змінних в процесі проведення експерименту). При плануванні експерименту незалежні змінні  $x$  та  $y$  перетворювали в безрозмірні змінні  $z_i$ , що дало змогу легко побудувати ортогональну матрицю планування.

Таблиця 2.2 – Значення окремих режимів круглого зовнішнього шліфування та їх натуральних логарифмів на двох рівнях

Перетворення незалежних змінних  $x_i$  проводили з допомогою рівняння:

$$z_i = \frac{2(\ln x_{i\min} - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}} + 1. \quad (2.4)$$

Після підстановки  $z_i$  замість  $x_i$  рівняння (2.4) набуло вигляду:

$$y = b_0 + b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3 + b_4z_4. \quad (2.5)$$

Під час проведення дослідів аргументам послідовно здавали різні поєднання значень, єднання рівних з модулем одиниці. Отримані при цьому значення функцій фіксували. Складали план експерименту (табл. 2.3), де вказували різні поєднання рівнів факторів у кожному експерименті. Зніми плюс (+) та мінус (–) позначено рівні факторів згідно з таблицею 2.2 (цифра 1 після знаків опущена). Наприклад, у першому рядкові таблиці 2.3 знаки мінус означають, що швидкість круга та деталі, поздовжня та поперечна подачі взято на нижньому рівні.

В цілому табл. 2.3 побудована так, що в експерименті здійснено всі можливі

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Вибіркова дисперсія становить:

$$S_{\theta}^2 = \sum_{\theta=1}^{16} S_{\theta}^2 = 0,0508. \quad (2.9)$$

Потім виконували перевірку відтворюваності дослідів (однорідності дисперсій вибірки). Перевірка відтворюваності є перевіркою виконання однієї з передумов регресійного аналізу про однорідність дисперсій вибірки  $S_{\theta}^2$ . Завдання полягає в перевірці гіпотези про рівність дисперсій експериментів у  $N$  точках факторного простору. Для перевірки гіпотези однорідності дисперсій використовували критерій Кохрена, який дорівнює:

$$G_{\max} = S_{\theta^{\max}}^2 / \sum_{\theta=1}^N S_{\theta}^2, \quad (2.10)$$

де  $S_{\theta^{\max}}^2 = 6,4 \times 10^{-3}$ ;  $\sum_{\theta=1}^N S_{\theta}^2 = 50,8 \times 10^{-3}$  за таблицею 2.3.

Тоді  $G_{\max} = 0,126$ .

Згідно з таблицею 3.6 роботи [22] інтерполяцією визначили, що при  $P=0,95$  для кількості степенів свободи  $\nu = m - 1 = 2$  та  $K=N=16$ , критичне значення критерію Кохрена становить  $G_{\text{кр}} \approx 0,31$ . Оскільки  $G_{\max} = 0,126 < G_{\text{кр}} = 0,31$ , то гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Дисперсія експерименту з  $\theta_2 = N(m - 1) = 32$  степенями свободи дорівнює:

$$S_{\theta}^2(y) = \sum_{\theta=1}^N (S_{\theta}^2 / N) \quad (2.11)$$

де  $\sum_{\theta=1}^N S_{\theta}^2 = 0,0508$ ,  $N=16$ .

Таким чином,  $S_{\theta}^2(y) = 0,0508/16 = 3,2 \times 10^{-3}$ .

Перевірку гіпотези про значимість коефіцієнтів  $b_i$  рівняння (2.5), тобто перевірку нуль-гіпотези при  $b=0$ , виконували за допомогою критерію Стьюдента

$$t = b_i / s(b_i), \quad (2.12)$$

де  $b_i$  – коефіцієнт рівняння (2.5);

$s(b_i)$  – дисперсія помилки визначення коефіцієнтів  $b_i$ , що дорівнює:

$$s(b_i) = \sqrt{S_{\theta}^2(y) / N m}, \quad (2.13)$$

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тут  $s^2(\sigma) = 3,2 \times 10^{-3}$ ;  $N=16$ ;  $m=3$  і  $s(b_i) = \sqrt{3,2 \times 10^{-3} / 16 \times 3} = 8,2 \times 10^{-2}$ .

Підставляючи в рівняння (2.12) відповідні значення, отримали такі величини критерію Стьюдента:  $t_0=72,0$ ;  $t_1=4,4$ ;  $t_2=4,7$ ;  $t_3=11,6$ ;  $t_4=12,2$ .

Критичне значення критерію Стьюдента  $t_{кр}$  знаходили за таблицею 3.2 роботи [22] при  $n=N(m-1)=32$  степенях свободи та заданому рівні значимості  $g=5\%$ . У нашому випадкові  $t_{кр}=1,7$ . Оскільки  $t_i > t_{кр}$ , то коефіцієнти  $b_i$  призначаються значимими.

Потім виконували перевірку відтворюваності дослідів (однорідності дисперсій вибірки).

Підставляючи в рівняння (2.5) значення безрозмірних коефіцієнтів  $b_i$ , які визначали з формулою (2.3),

$$z_1 = 33,57 \ln x_1 - 11,7; z_2 = 5 \ln x_2 - 19,5; z_3 = 1,24 \ln x_3 + 1,0; z_4 = 1,24 \ln x_4 - 3,86,$$

отримали  $y = -0,02 - 0,128 \ln x_1 + 0,19 \ln x_2 + 0,118 \ln x_3 + 0,124 \ln x_4$ .

Перевірку отриманою рівняння робили з критерієм Фішера. Рівняння (2.14) є адекватним.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Експериментальні зразки для проведення досліджень

Дослідження впливу алмазного шліфування на якість силікатного покриття здійснювали на силікатних зразках із низьковуглецевої сталі 08, які представляють собою втулку (рис. 3.1) та диски (рис. 3.2).

Рисунок 3.1 – Втулка

Рисунок 3.2 – Диск

Захист металевого обладнання лакофарбовими покриттями є одним з найдавніших і найпоширеніших способів боротьби з корозією.

Основними перевагами лакофарбових покриттів є їх відносна дешевизна, відносна простота нанесення та легкість відновлення пошкоджених ділянок, а недоліками – мала термостійкість, оскільки гранична температура застосування зазвичай не перевищує 150-200°C, невисокі механічна міцність і стійкість у водному середовищі.

Обладнання хімічних виробництв фарбують здебільшого у складеному вигляді після проведення приймальних випробувань і усунення виявлених дефектів. Процес фарбування зазвичай складається з трьох основних етапів: підготовки поверхні, її фарбування й сушіння, а також оздоблення.

Підготовка поверхні складається з її очищення, вирівнювання, ґрунтування і шпаклювання з наступним шліфуванням. Очищення виконують хімічними або механічними способами. Поверхні великих деталей обробляють органічними розчинниками. Після очищення на поверхню, що підлягає фарбуванню, наносять ґрунтовку, а потім – шпаклівку (рис. 3.3). Товщина шару шпаклівки має бути мінімальною - у разі великої товщини шару знижується міцність покриття [26].

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

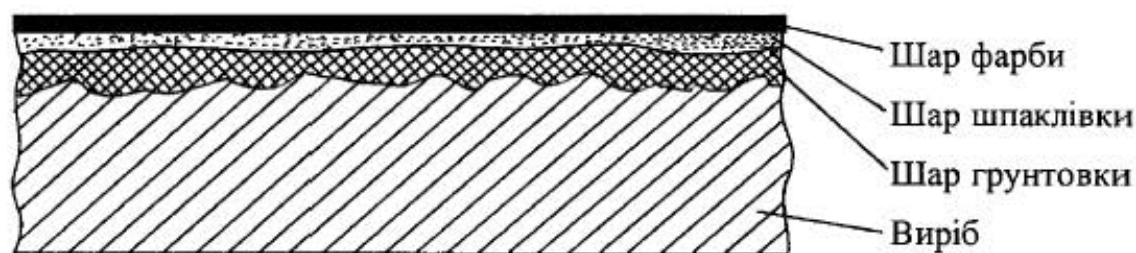


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд структури лакофарбового покритву виробу

У хімічній промисловості застосовують покриття товщиною 0,6-2,4 мм, при цьому найбільш надійним є скло емалеве покриття завтовшки 0,8-1,2 мм, яке утворюють п'ять або шестиразовим наплавленням.

Як склоподібний матеріал для наплавлення покриттів використовують спеціальні ґрунтові й покритвні емалі, які мають потрібні фізико-хімічні властивості, що визначаються умовами експлуатації емальованого виробу.

Хімічний склад скляної фритти силікатних емалей, що досліджувалися приведений в таблиці 3.1. Необхідно відмітити, що використані емалі *a*, і *b* є склокристалічними, а емаль *c* – скловидною.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад скляної фритти досліджуваних емалей

Склад компонентів	<i>a</i> =81
SiO <sub>2</sub>	62,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,0
CaO	2,0
Na <sub>2</sub> O	6,3
K <sub>2</sub> O	5,6
Li <sub>2</sub> O	4,0
TiO <sub>2</sub>	4,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8
F <sub>2</sub>	1,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,0
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5
MgO	-
ZnO	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд\_24.15.000 ПЗ

Арк.

Для кристалізації емальовані зразки нагрівали в муфельній печі до температури 970К і робили витримку протягом 2,5 та 5,0 годин відповідно. Далі охолоджували в атмосфері спокійного повітря.

### 3.2 Методика дослідження шорсткості оброблюваної поверхні

#### 3.2.1 Режими шліфування

Під шорсткістю поверхні розуміють розмірну характеристику совокупності нерівностей поверхні з порівняно малими кроками, в межах ділянки на базовій довжині  $l$ .

Експлуатаційні властивості виробів машин значною мірою залежать від шорсткості поверхні [27]. Важливе значення макро- і мікрогеометрія поверхні має для деталей машин, що являються складовими ланками вузлів тертя ковзання, що працюють в різноманітних агресивних середовищах [28].

Вивчення впливу алмазного шліфування на якість формування силікатних поверхонь здійснювали, використовуючи в якості експериментальних зразків емальованої втулки. Втулки вдягли на спеціальну оправку (рис. 3.4) та шліфували в центрах на універсальному кругло-шліфувальному верстаті моделі 3Б12.

Рисунок 3.4 – Оправка для шліфування силікатних втулок

Для охолодження обробленої деталі та алмазного інструмент в зону шліфування продавали 3%-ий водний розчин кальцинованої соди в кількості 8...12 л/хв.

Вибір марки алмазного інструменту та діапазонів технологічних режимів шліфування і складу мастильно-охолоджуючої рідини базується на результатах досліджень процесу шліфування скла, ситалу кераміки й інших твердих та крихких матеріалів.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2.2 Параметри якості оброблених поверхонь

Згідно ГОСТ 2789-73 оцінку шорсткості обробленої поверхні отримували за допомогою слідуючих критеріїв:

$R_{max}$  – найбільша висота нерівностей профілю – відстань між лінією виступів профілю та лінією западин профілю в межах базової довжини;

$R_a$  – середнє арифметичне відхилення профілю  $y_i$  у межах базової довжини  $l$ , що визначали згідно формули:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l [y(x)] dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i], \quad (3.1)$$

$R_z$  – висота нерівностей профілю, яка становить:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [y(x)]^2 dx} \approx \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}}, \quad (3.2)$$

На практиці цю величину можна розраховувати зп відомим співвідношенням

$$R_q \approx 1,25R_a. \quad (3.3)$$

$S_m$  – середній крок нерівностей профілю по вершинах, визнається за формулою:

$$S_m = l/m, \quad (3.4)$$

де  $l$  – базова довжина середньої лінії;

$m$  – кількість перетинів однойменних сторін профілю із середньою лінією.

Кількість перетинів можна підраховували за допомогою електронного пристрою або універсального профілометра;

$r$  – радіус заокруглення вершин нерівностей.

Для визначення радіуса вибирали близько 1/3 найбільш високих виступів, а також робили заміри довжини перерізу заокругленої частини виступу та висоту  $h$  (рис. 3.6).

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

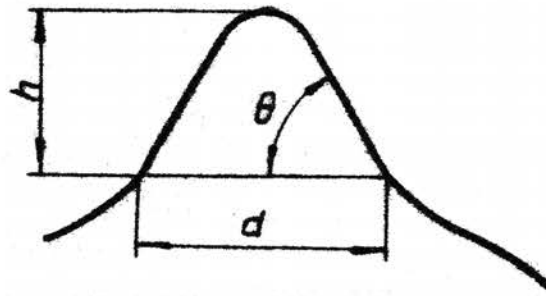


Рисунок 3.6 – Схема для визначення радіусів заокруглень  $r$  вершин нерівностей та кутів нахилу  $\theta$  їх сторін

Радіус заокруглення  $r$  відповідної вершини розраховували за формулою:

$$r = (d^2 j_2) / (8 h j_1^2), \quad (3.5)$$

де  $j_1, j_2$  – вертикальне та горизонтальне збільшення профілограми;

$h$  – висота вершин;

$d$  – ширина основи вершин.

$\theta$  – кут нахилу нерівностей (рис. 3.6) визначали, використовуючи вже виконані виміри за формулою:

$$\theta = \arctg \frac{2h \cdot \gamma_1}{d \cdot \gamma_2}. \quad (3.6)$$

Середнє значення радіусів заокруглення вершин і кутів нахилу сторін нерівностей визначали як середнє геометричне з отриманих при обробці поперечних та поздовжніх профілограм значень  $r$  і  $\theta$ .

$$\zeta = 1 + 7,7 \lambda^2 R \alpha^2, \quad (3.7)$$

де  $\alpha$  – середнє число перетинів кривої профілю своєї середньої лінії на одиницю довжини;

$\zeta_{нов}$  – коефіцієнт шорсткості поверхні, дорівнює відношенню дійсної площі до номінальної, визначали за формулою згідно з [33]

$$\zeta_{нов} = 1 + 7,7 (\lambda_1 R \alpha_1^2 + \lambda_2 R \alpha_2^2), \quad (3.8)$$

де індекси 1 і 2 означають поперечну та поздовжню шорсткість поверхні відповідно.

Для отримання характеристик шорсткості, що більш повно відображають зв'язок нерівностей з експлуатаційними властивостями поверхні та

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ				

технологічними особливостями їх отримання, геометрію поверхні розглядали як реалізацію випадкового процесу. Оскільки реалізація цього процесу (профілограма поверхні) має вигляд безперервних випадкових коливань навколо деякого середнього значення з приблизно однаковою амплітудою й однаковим характером цих коливань на будь-якій довільно вибраній ділянці, такий випадковий процес може розглядатись як стаціонарний [34].

Згідно з теорією випадкових функцій [35], основною характеристикою випадкових процесів є кореляційна функція:

$$K(\tau) \approx \frac{1}{l-\tau} \int_0^{l-\tau} x(t)x(t+\tau)dt, \quad (3.9)$$

де  $l$  – довжина реалізації (довжина профілографи);

$\tau$  – інтервал - змінна різниця між абсцисами двох січень профілографи;

$x(t), x(t+\tau)$   ~~$x(t), x(t+\tau)$~~  – ординати профілографи.

Перетворення профілограм у корелограми виконували з використанням програмного забезпечення. Корелограма реальної поверхні має візуально видимої випадковість (рис. 3.7)

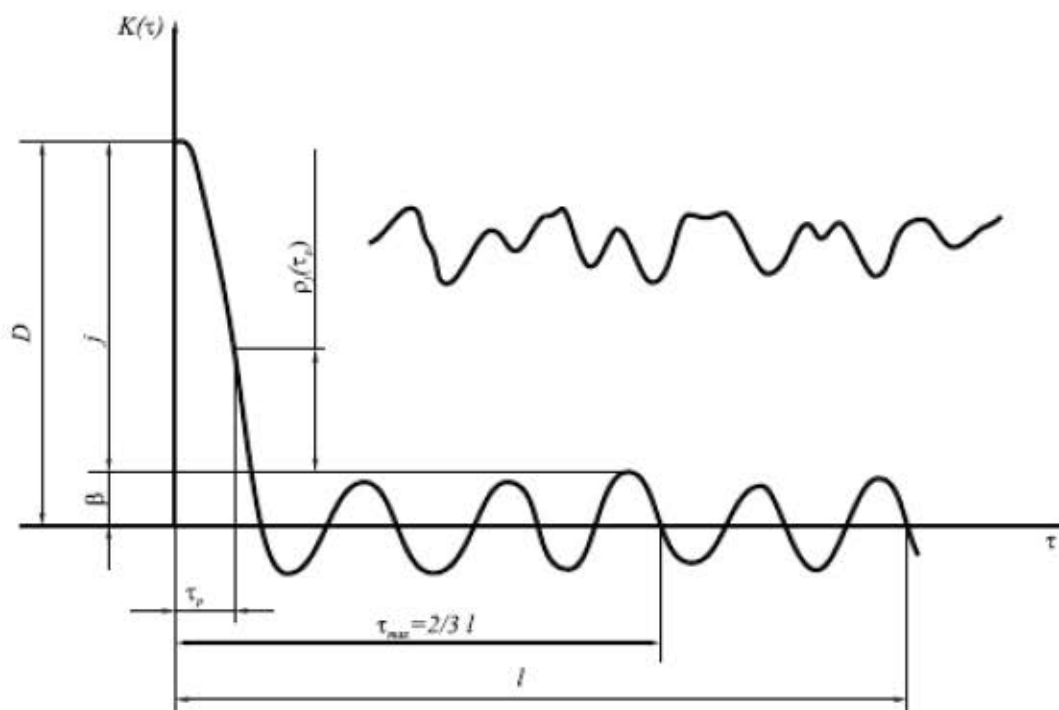


Рисунок 3.7 – Корелограма заданої поверхні

Кореляційну функцію для поверхні, що піддана механічній обробці, можна апроксимувати таким рівнянням згідно з [36]:

$$K(\tau) \approx 0,5A_{\beta}^2 \cos \frac{2\pi}{T_{\beta}} \tau + D_{\gamma} e^{-\alpha^2 \tau^2} \quad (3.10)$$

де  $A_{\beta}$  і  $T_{\beta}$  – амплітуда та крок найбільшої гармоніки;

$\tau$  – інтервал;

$D_{\gamma}$  – дисперсія випадкової складової профілю,  $\sim$  дорівнює  $R_q^2$ ;

$e$  – основа натуральних логарифмів;

$\alpha$  – показник частотного складу випадкових нерівностей, що становить:

$$\alpha = \sqrt{\frac{b\gamma - \ln \rho_{\gamma}(\tau_{\rho})}{\tau_{\rho}}} \quad (3.11)$$

де  $\gamma$  – частка випадкових нерівностей в загальній дисперсії розподілу цих нерівностей (рис. 3.7);

$\tau_{\rho}, \rho_{\gamma}(\tau_{\rho})$  – параметри корелограми (рис. 3.7).

Однією з важливих характеристик формування шорсткості поверхні, що має вплив на зносостійкість, є відносна опорна довжина профілю, яка характеризує розподілення матеріалу в поверхневому шарі.

Для встановлення параметрів  $b$  і  $\vartheta$  опорної кривої, що в виражена рівнянням

$$\eta = b\varepsilon^{\vartheta} \quad (3.12)$$

де  $\eta$  – відносний коефіцієнт опорної довжини профілю;

$\varepsilon$  – відносне зближення.

Знімали профілограми поверхні експериментальних зразків відповідно до загальноприйнятою методики. Згідно цієї методики, на профілограмах відбирали ділянки довжиною, яка дорівнювала базовій довжині  $l$ . На даній ділянці проводили середню лінію і потім розділяли профілограму прямими лініями з кроком  $a$  на 10 ділянок. Для кожної прямої, яка перетинала профіль, визначали сумарну довжину перерізів виступів  $l_i = \sum \Delta l_i$ , а зближення  $\varepsilon_i$  відображали у відносних величинах  $\varepsilon_i = a_i / R_{max}$ , а для кожного з них визначали відповідне значення  $\eta_i = l_i / l$  (див. рис. 3.8).

Після логарифмування рівняння (3.12), отримали функцію прямої

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\lg \eta = \lg b + \vartheta \lg \varepsilon. \quad (3.13)$$

Далі будували отримані пряму в логарифмічних координатах і знаходили відповідний коефіцієнт  $\vartheta$ , який дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до вісі абсцис  $\varepsilon$  та величину  $\lg b$ , що дорівнює відрізку, який відсікається заданою прямою на вісі ординат при  $\varepsilon_i = 1$ .

Оцінювали зносостійкість шліфованих силікатних виробів за допомогою відомого критерію [37]:

$$\Delta = R_{\max} / (rb^{1/\vartheta}), \quad (3.14)$$

де  $r$  – середній радіус заокруглення вершин нерівностей поверхні,  
 $b, \vartheta$  – параметри опорної кривої.

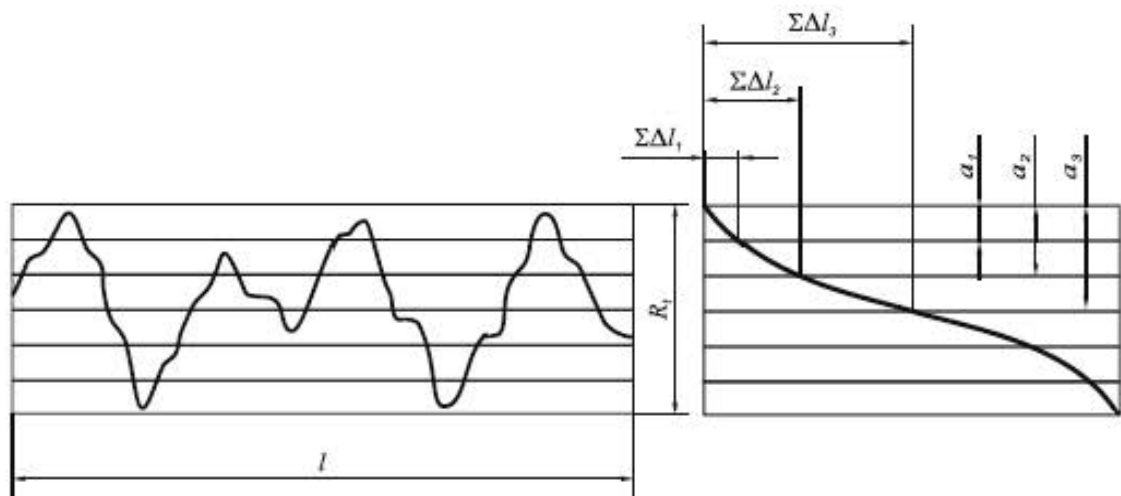


Рисунок 3.8 – Приклад побудови кривої базової довжини  $l$

Також вивчали вплив теплової обробки шліфованих силікатних деталей на макро- та мікрогеометрію їх поверхонь. Дослідження проводили на відрізанних від силікатних втулок кільцях шириною 20 мм, які піддавали термічній обробці в інтервалі температур 900...1200К.

Метою таких досліджень було встановлення температурного інтервалу, що дозволяє виконати вогневе полірування шліфованих силікатних поверхонь, не знижуючи досягнутої шліфуванням розмірної точності силікатних елементів.

									Арх.
Змн.	Арх.	№ док.м.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ				

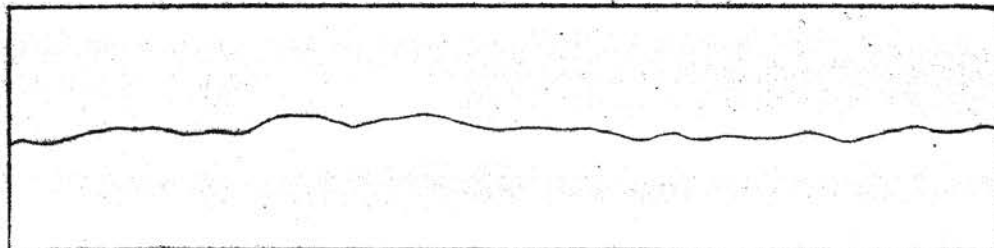
## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Макро- і мікрогеометрія силікатних покриттів

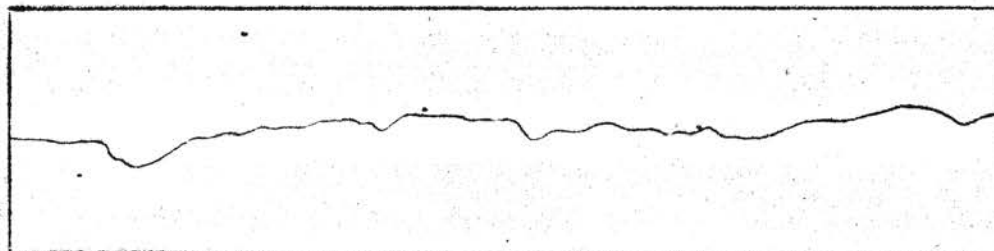
Товщина вогнеполірованого захисного шару силікатного покриття на сталевих деталях коливається в межах 200...300мкм, а деколи і більше, що зумовлено високотемпературними умовами формування. Тому емальовані металічні деталі типу циліндричних стрижнів мають значні відхилення від правильної геометричної форми та невисоку розмірну точність. Нами встановлено, що сталеві емальовані вали діаметром 40...200 мм мають некруглість ~100...300 мкм (рис. 4.1) та не циліндричність на довжині двох діаметрів 400...600 мкм (рис. 4.2). В межах розглядуваних діаметрів такі похибки геометричної форми не дозволяють отримати емальовані металічні деталі вище від 12-ого квалітету точності.

Рисунок 4.1 – Круглограма емальованого сталевго вала

Рисунок 4.2 – Макропрофілограма емальованого сталевго вала



81



12

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

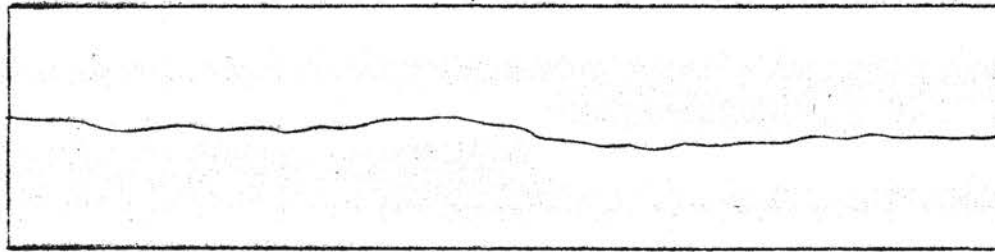


Рисунок 4.3 – Профілограми силікатних поверхонь металевих деталей, які мають склокристалічне (81, 12) і скловидне (57) покриття (горизонтальне збільш. 200, вертикальне збільш. 2000)

Різна товщина силікатного покриття викликає також нерівномірну хвилястість емальованої поверхні, амплітуд якої досягає 200...300 мкм, крок коливається в межах від 1 до 10 мм.

Незважаючи на недостатньо високу розмірну точність, емальовані металічні деталі мають доволі гладку поверхню ( $R_a=0,1...0,4$  мкм), що є наслідком вогневого полірування захисного шару емалі в процесі відпалу. В результаті статистичної обробки профілограм поверхні силікатного покриття (рис. 4.3) встановлено, що параметри шорсткості силікатних поверхонь, які досліджуються, змінюються в межах, котрі наведені в таблиці 4.1.

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що шорсткість поверхні силікатних деталей коливається в межах 9...10 класів чистоти та, в основному, відповідає мікрорельєфу полірованої поверхні металу.

Таблиця 4.1 – Параметри шорсткості силікатних поверхонь

№	Параметри шорсткості	Роз- мірність	12
1	Найбільш висота профілю поверхні, $R_{max}$	мкм	2,3...3,0
2	Середнє квадратичне відхилення профілю, $R_q$	мкм	0,38...0,5
3	Середнє арифметичне відхилення профілю, $R_a$	мкм	0,3...0,4
4	Середній крок не-рівностей профілю, $S_m$	мкм	40...60

Винятком є кроки мікронерівностей  $S_m$ , які для силікатних поверхонь приблизно в 1,5...2,0 рази більше, ніж для полірованих металічних поверхонь. Це надає вогнеполірованим емальованим поверхням погану змочуваність, що негативно відображається на зносостійкості силікатних поверхонь тертя ковзання. Більш шорсткими є поверхні сталіх деталей, які мають склокристалічне покриття 81 та 12. Як встановлено нами, збільшення шорсткості поверхонь, що емальовані склокристалічними емалями, відбувається в процесі кристалізації силікатного покриття при додатковій термічній обробці.

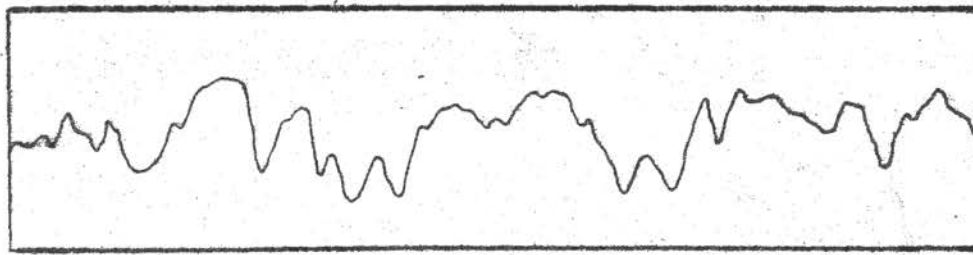
#### 4.2 Вплив режимів шліфування на шорсткість силікатних поверхонь

Для експлуатаційної надійності та довговічності деталей машин велике значення має мікрогеометрія їх поверхонь. Особливо важливе значення мікрорельєф поверхні набуває для деталей машин, що працюють в умовах корозійно-механічного й абразивного зносу при підвищеній температурі. Від мікрогеометрії поверхні залежить величин коефіцієнт тертя ковзання пр. контакту, зносостійкість тіл тертя, статична і динамічна міцність деталей, їх антикорозійні та гідродинамічні властивості, опір кавітації, герметичність з'єднань тощо.

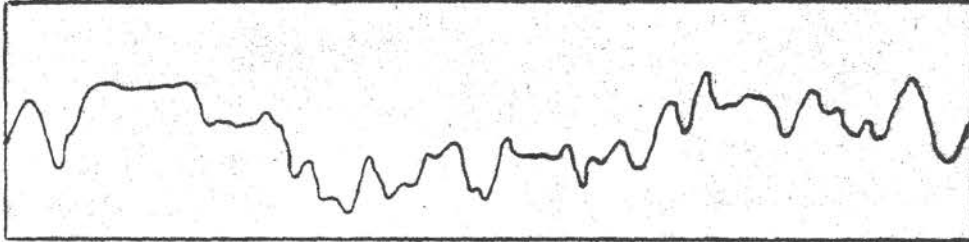
Як видно з поданих профілограм (рис 4.4), із збільшенням колової швидкості  $v_k$  алмазного круга від 20 до 35 м/с при  $v_g = 40$  м/хв,  $S = 0,6$  м/хв та  $t = 10$  мкм шорсткість емальованої поверхні зменшується незначно. Із збільшенням колової швидкості круга зростає кількість зерен, які беруть участь в процесі шліфування, що приводить до зменшення глибини втілення (врізання) окремих зерен і зменшення нерівностей.

Статистична обробка профілограм [35] привела до висновку, що вплив колової швидкості інструмента на шорсткість силікатних поверхонь (рис. 4.5) можна з достатнім ступенем точності описати рівняння прямої

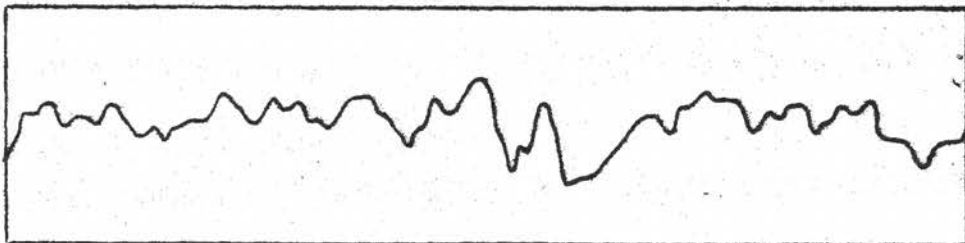
					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$v_k=20\text{м/с}$



$v_k=30\text{м/с}$



$v_k=35\text{м/с}$

Рисунок 4.4 – Зміна профілю емальованої поверхні в залежності від колової швидкості алмазного круга  $v_k$  при АСВ 125/100 (горизонтальне збільш. 200, вертикальне збільш. 2000)

—○— 81 —□— 12 —◇— 57

Рисунок 4.5 – Вплив колової швидкості алмазного круга  $v_k$  на шорсткість силікатних покриттів 81, 12, 57 металевих деталей при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100

$$R_a = kv_k + a, \quad (4.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності;

$a$  – вільний член.

Значення параметрів рівняння (4.1)  $k$  і  $a$  для досліджених силікатних покриттів наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Значення параметрів рівняння (4.1) для СВ 125/100

Параметри рівняння	81
$k$	$-15,2 \cdot 10^{-3}$
$a$	1,888

При низькій коловій швидкості емальованої деталі  $v_g = 20 \dots 30$  м/хв. Матеріали контактуючих пар схильні до захоплення. Тому із збільшенням кругової подачі  $v_g$  від 20 до 40 м/хв при  $v_k = 30$  м/с,  $S = 0,6$  м/хв та  $t = 10$  мкм шорсткість поверхні спочатку зменшується, потім із зростанням  $v_g$  (рис. 4.6) збільшується.

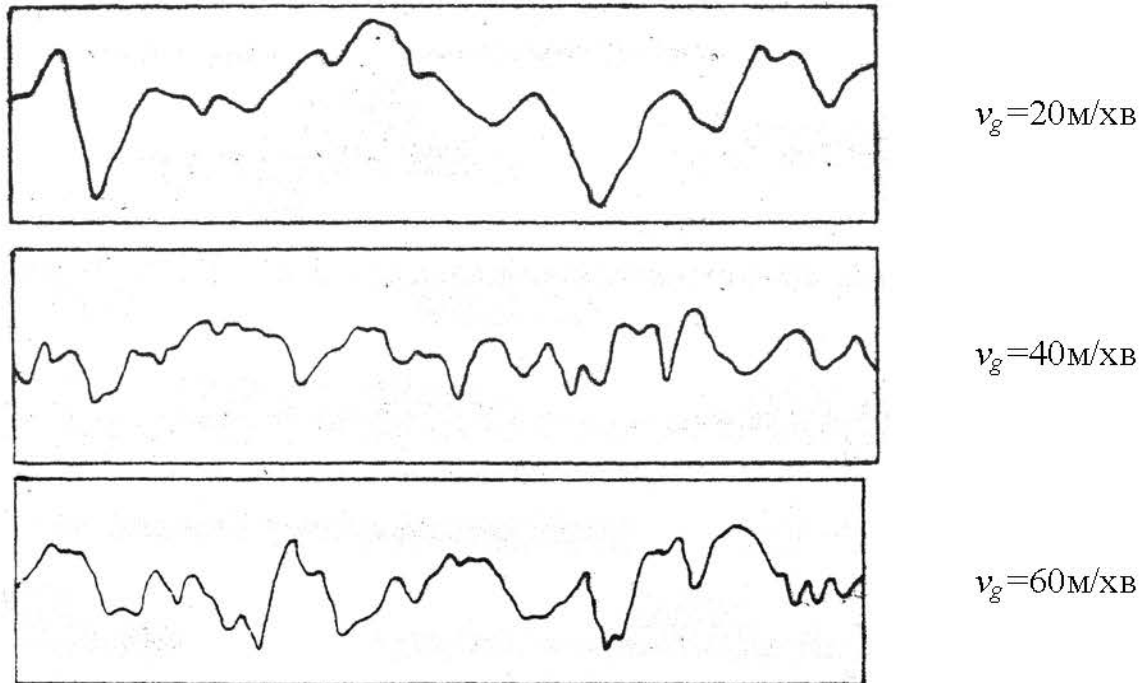


Рисунок 4.6 – Зміна профілю мікронерівностей емальованої поверхні в залежності від колової швидкості оброблюваної деталі  $v_g$  при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100 (горизонтальне збільш. 200, вертикальне збільш. 2000)

—○— 81    —□— 12    —◇— 57

Рисунок 4.7 – Вплив колової швидкості оброблюваної деталі  $v_g$  на шорсткість силікатних покриттів 81, 12, 57 металевих деталей при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100

Аналіз профілограм поверхні силікатних деталей, шліфованих при різних значеннях  $v_g$  свідчить про те, що шорсткість силікатних поверхонь змінюється з кривою параболічного характеру (рис. 4.7), що описується таким рівнянням:

$$R_a = l(v_g - v_g^0) + b, \quad (4.2)$$

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $l$  – коефіцієнт пропорційності;

$v_g$  – колова швидкість деталі, м/хв.;

$v_g^0 = 40$  м/хв – оптимальна колова швидкість деталі;

$b$  – вільний член.

Значення параметрів рівняння (4.2)  $l$  і  $b$  для дослідження покриттів наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Значення параметрів рівняння (4.2) для АСВ 125/100

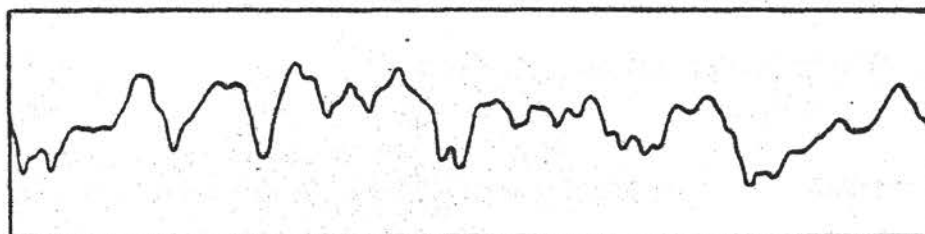
Із зміною поздовжньої подачі  $S$  від 0,2 до 1,0 м/хв при  $v_k = 30$  м/с,  $v_g = 40$  м/хв, і  $t = 10$  мкм шорсткість емальованої поверхні також змінюється (рис. 4.8) графічно ця зміна відображується ввігнутою кривою (рис. 4.9), як може бути описана рівнянням другого ступеня

$$R_a = mS^2 + c, \quad (4.3)$$

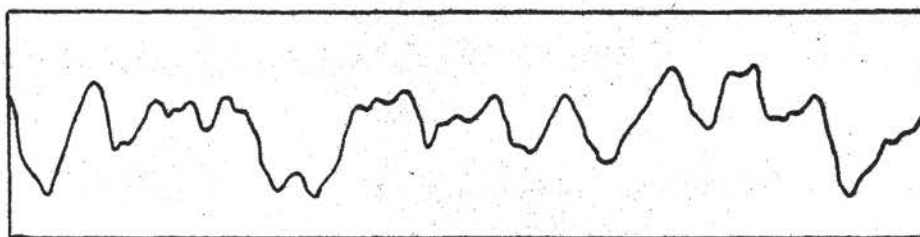
де  $m$  – коефіцієнти пропорційності;  $c$  – вільний член.

Значення параметрів рівняння (4.3)  $m$  і  $c$  для досліджуваних покриттів наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення параметрів рівняння (4.3) для СВ125/100

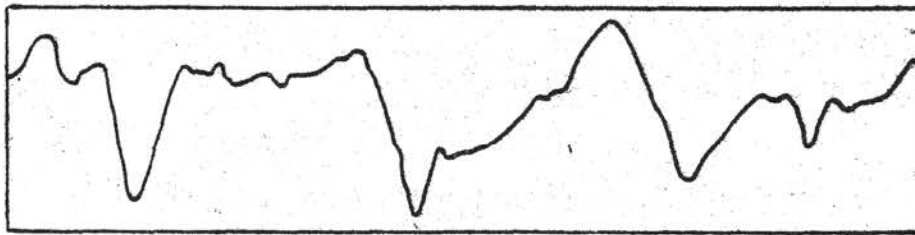


$S=0,2$ м/хв



$S=0,6$ м/хв

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$S=1,0\text{м/хв}$

Рисунок 4.8 – Зміна профілю мікронерівностей емальованої поверхні в залежності від поздовжньої подачі  $S$  при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100 (горизонт. збільш. 200, вертикальне збільш. 2000)

—○— 81 —□— 12 —◇— 57

Рисунок 4.9 – Вплив поздовжньої подачі  $S$  на шорсткість силікатних покриттів 81, 12, 57 металевих деталей при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100

Такий характер впливу поздовжньої подачі на шорсткість обробленої поверхні силікатного покриття зумовлений значною мірою зміною умов руйнування матеріалу при стружко утворенні зі зростанням величини поздовжньої подачі.

Із збільшенням поперечної подачі  $t$  на один подвійний хід столу від 5 до 40 мкм при  $v_k=30$  м/с,  $v_g=40$  м/хв і  $S=0,6$  м/хв шорсткість емальованої поверхні збільшується пропорційно до величини  $t$  (рис. 4.10). При  $t=40\dots 50$  мкм відбувається деяке затухання такої лінійної залежності. Це явище можна пояснити тим, що алмазне зерно не може втілитись в обробляємо поверхню на глибину більше від тієї, при котрій виникають зусилля різання, які перевищують границю міцності алмазного зерна бо силу утримання його зв'язкою. При поперечній подачі  $t>40$  мкм відбувається не збільшення глибини різання, а пружна деформація системи «верстат–присосування–інструмент–деталь». Графічно залежність шорсткості емальованої поверхні від поперечної подачі  $t$  зображується випуклою кривою (рис. 4.11), яку можна описати рівнянням другого ступеня:

$$R_a = n(t - t_m)^2 + d, \quad (4.4)$$

де  $n$  – коефіцієнт пропорційності;

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ				

$t$  – поперечна подача, мкм;

$d$  – вільний член;

$t_m = 50$  мкм – максимальна поперечна подача.

Значення параметрів рівняння (4.4)  $n$  і  $d$  для досліджуваних покриттів наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Значення параметрів рівняння (4.4)  $n$  і  $d$  для СВ 125/100

Наведені формули (4.1 – 4.4) дозволяють визначити середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$  емальованої поверхні, що обробляється, при одному змінному параметрі режиму алмазного шліфування та решті трьох постійних. Вплив окремих параметрів режиму алмазного шліфування на шорсткість емальованої поверхні є дуже важливим для вивчення фізичної суті процесу.

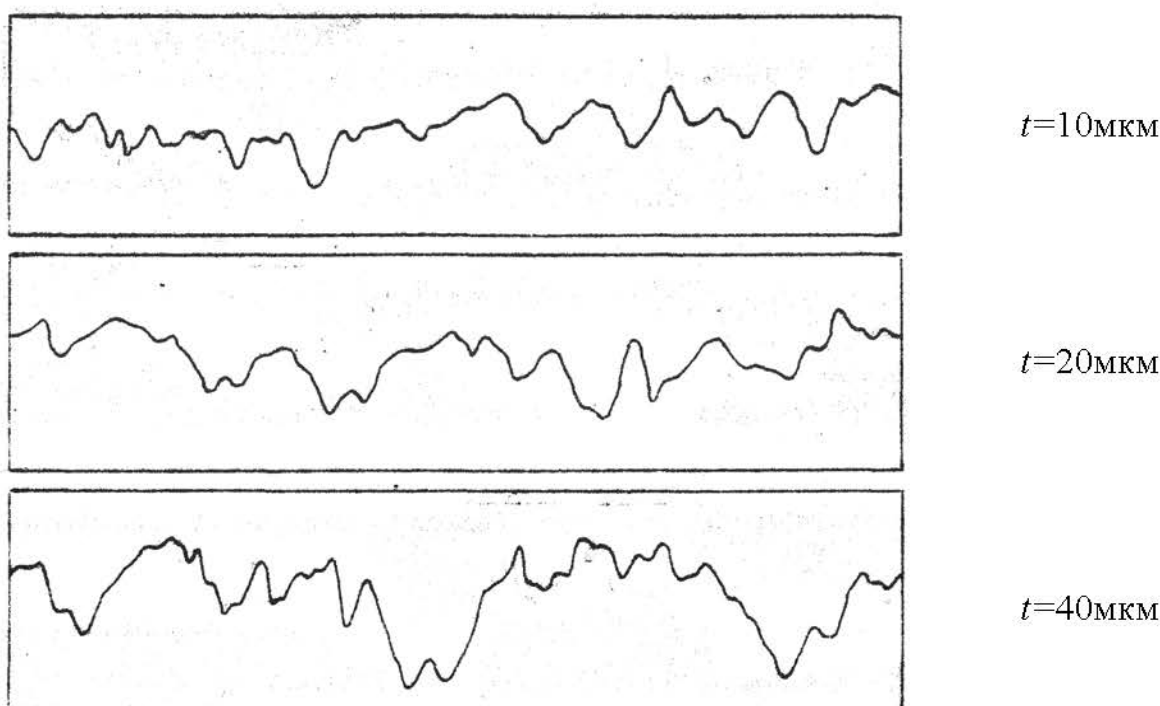


Рисунок 4.10 – Зміна профілю мікронерівностей емальованої поверхні в залежності від поперечної подачі  $t$  при круглому зовнішньому шліфуванні металізованим АСВ 125/100 (горизонт. збільш. 200, вертикальне збільш. 2000)

—○— 81    —□— 12    —◇— 57

Рисунок 4.11 – Вплив поперечної подачі  $t$  на шорсткість силікатних покриттів металевих деталей при шліфуванні металізованим АСВ 125/100

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3 Висновки до розділу

Окремі режими круглого зовнішнього шліфування синтетичним алмазним інструментом зернистістю АСВ 125/100 і АСМ 40/28 здійснюють вплив на шорсткість поверхні сталевих силікатних деталей. Отримані відповідні функціональні залежності.

Визначені оптимальні режими шліфування сталевих силікатних валів синтетичним алмазним інструментом.

Встановлено комплексний вплив режимів шліфування на шорсткість поверхні сталевих силікатних деталей  $R_a = f(v_k, v_g, S, t)$  шляхом проведення повних факторних експериментів та отримано відповідно функціональну залежність.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

### 5.1 Екологічна експертиза розробки

Загальні вимоги екологічної безпеки до виробничого обладнання встановлює ГОСТ 12.2.003–91. Він передбачає такі умови, за яких під час експлуатації обладнання викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище не перевищують граничнодопустимих концентрацій (ГДК), які встановлені ГОСТ 12.1.005–88 [40].

Температурний режим роботи залежить від наявності у робочій зоні нагрітих поверхонь обладнання і трубопроводів. Найбільш надійний захист від теплових випромінювань – теплоізоляція гарячих поверхонь. Температура зовнішньої поверхні ізоляції має бути не більшою за 45 °С. Для захисту неізованих поверхонь установлюють знімні відбивні, вбиральні або тепло відвідні екрани. Приміщення, у яких встановлено обладнання, що містить шкідливі речовини, має бути обладнано вентиляцією, у тому числі аварійною, для швидкої евакуації шкідливостей, які раптово з'явилися.

На робочих місцях необхідно також контролювати вміст у повітрі ГДК

Вентиляційна система має забезпечити евакуацію пилу з приміщення і доведення якості повітря до встановлених норм. Для індивідуального захисту від пилу застосовують респіратори.

Згідно з вимогами безпеки у всіх виробничих приміщеннях вибухо не безпечних та вибухо-пожежо небезпечних хімічних виробництв має бути безперервно діюча припливно-витяжна механічна, природна або змішана вентиляція.

Шкідливі речовини відсмоктуються вентиляторами безпосередньо з робочих місць і поверхонь обладнання. Над цими місцями встановлюють витяжні зонти або бокові відсмоктувачі.

Аеродинамічні випробування вентиляційних систем проводять не рідше одного разу на рік, а також після кожного капітального ремонту або реконструкції згідно з ГОСТ 12.3.018–79.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо вентиляційна система не забезпечує нормальних метеорологічних умов і чистоти повітря у приміщеннях, то застосовують систему кондиціонування повітря [41].

## 5.2 Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій

При роботі на шліфувальних верстатах небезпека травматизму значно більше, ніж при роботі на інших металорізальних верстатах, тому шліфувальник повинен знати і суворо дотримуватися вимог, що усувають причини виробничого травматизму. Ці вимоги визначаються правилами, технічними, санітарно-гігієнічними заходами, а також заходами з охорони праці [42].

Принцип охорони праці, її наукову організацію на підприємствах впливає з основних положень трудового права, спрямованих на створення сприятливих і безпечних умов праці, що сприяють високій продуктивності.

Технічні заходи безпечних умов праці спрямовані на створення технологічних процесів, при виконанні яких не виникає небезпеки для життя і здоров'я працюючого. Завданням санітарно-гігієнічних заходів є створення сприятливих умов праці на робочому місці, дотримання чистоти на ньому, створення раціонального освітлення і нормальної вентиляції повітря, усунення або зменшення шуму до допустимих норм.

Заходи з охорони праці та промислової санітарії спрямовані на створення таких умов у виробництві, які не можуть прямо або побічно призвести до нещасних випадків і професійних захворювань.

Керівники підприємств зобов'язані забезпечити своєчасне і якісне проведення інструктажу з охорони праці та промислової санітарії для тих, хто влаштовується та всіх працюючих незалежно від стажу, досвіду їх роботи і кваліфікації на основі правил та інструкцій з охорони праці з урахуванням конкретних умов виробництва. Загальне керівництво і відповідальність за проведення інструктажу працюючих з охорони праці покладається на головного інженера підприємства. Відповідальність за своєчасне і якісне проведення

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструктажу і навчання працюючих безпечним прийомам і методам роботи несуть начальники цехів і відділів. Контроль за цим здійснює начальник відділу або інженер з охорони праці [43].

Начальник цеху на основі типових інструкцій з охорони праці зобов'язаний забезпечити розробку детальних інструкцій для кожної професії з урахуванням конкретних місцевих умов і специфіки виробництва та узгодити їх з відділом або інженером з техніки безпеки. Після затвердження головним інженером підприємства інструкції повинні бути видані під розписку робітнику відповідно яку вони виконують або вивішені на видному місці.

Невиконання працівниками правил та інструкцій з охорони праці розглядається як порушення виробничої дисципліни, і винні в цьому залучаються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку.

Інструктаж з охорони праці повинен проводитися двох видів: вступний інструктаж і інструктаж на робочому місці, який в свою чергу ділиться на первинний, повторний і позачерговий.

Вимоги з охорони праці викладені в системі державних стандартів безпеки праці (ССБТ). Нижче наведено перелік стандартів, що охоплює безпеку роботи на шліфувальних верстатах: ГОСТ 12.0.001-82; ГОСТ 12.0.002-2003; ГОСТ 12.0.003-74.

Експлуатоване обладнання повинно знаходитися в повній справності. Робота на несправному обладнанні забороняється. Шліфувальні верстати, що працюють з виділенням пилу при сухому шліфуванні, потрібно встановлювати в окремому приміщенні із загальною проточною вентиляцією і пиле відсмоктуванням від кожного місця виділення пилу. Верстати повинні мати необхідне огорожу.

Збирання обладнання повинні виконувати працюють на даному обладнанні. Прибирання та чистка електродвигунів, пускової апаратури та інших приладів, що знаходяться під напругою, забороняється.

Все електрообладнання верстатів ретельно заземлюється, а доступні для дотику струмопровідні частини огородити. Щитки і рубильники встановлюються

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в глухих металевих кожухах, що замикаються на замок, з написами про застосований напрузі. Ремонт електрообладнання мають право робити тільки електромонтери.

Правила безпеки праці при шліфувальних роботах діляться на дві основні групи: пов'язані з шліфувального круга і пов'язані з управління шліфувальним верстатом.

Основною причиною підвищеної небезпеки при шліфуванні є розрив шліфувального круга під час роботи за рахунок високих швидкостей різання, чутливості до вібрацій, ударів і відносно меншою міцності в порівнянні з іншим ріжучим інструментом. Вимоги до шліфувальних кругів викладені в ГОСТ 12.2.001-74 «Система стандартів безпеки праці. Інструмент абразивний. Правила і норми безпечної роботи».

Шліфувальні круги повинні бути ретельно перевірені на наявність тріщин. Зберігають їх у коморах на стелажах, полицях або в ящиках. Розміри стелажів і способи зберігання повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.001-74.

Зі складу до робочого місця круги транспортуються з необхідними заходами. На робочому місці круги зберігають окремо від металевих предметів. Під дією удару або поштовху в кругах з'являються тріщини, які важко помітити неозброєним оком, але які можуть бути причиною розриву круги.

Перед установкою на верстат круги випробовують на міцність обертанням, що перевищує окружну робочу швидкість в 1,5 рази. Тривалість випробувань становить 5 хв для кругів діаметром 150 - 475 мм і 7 хв - для кругів діаметром 500 мм і більше. Для швидкісних кіл діаметром 30 - 90 мм час випробувань становить 3 хв. При установці на випробувальний верстат коло кріпиться фланцями. Після випробувань на колі повинна бути зроблена відповідна відмітка, яка містить порядковий номер круги по книзі, дату випробувань і підпис особи, відповідальної за випробування. Установка круги на верстат без позначки не допускається [44].

Шліфувальні круги постачають захисними кожухами, які прикріплюють до шліфувальної бабці. Кожухи захищають робітників при можливий розрив

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шліфувального круга від бризок мастильно-охолоджувальної рідини. Розташування і найбільші допустимі кути розкриття захисного кожуха вибираються за ГОСТ 12.2.001-74.

При установці нового круга повинен бути витриманий зазор між новим колом і циліндричною поверхнею кожуха для кіл діаметром до 100 мм - не більше 9 мм, 101 - 300 мм - не більше 10 мм, 301 - 600 мм - не більше 15 мм. Іноді кут розкриття регулюють пересувним запобіжним козирком, при цьому необхідно прагнути до зменшення кута розкриття кожуха.

Кожний круг перед установкою на верстат повинен бути відбалансований, а після установки - підданий короткочасному обертанню вхолосту на робочій швидкості: при діаметрі до 150 мм - протягом 3 хв, при діаметрі понад 150 мм - протягом 5 хв.

Перед початком роботи необхідно перевірити наявність на шліфувальному колі помітних тріщин та вибоїн. Несправний абразивний інструмент замінюють. Перевіряють, чи є прокладка між затискними фланцями і кругом, чи не ослаблені чи гайки і затискні фланці.

При роботі подача шліфувального круга повинна здійснюватися плавно, без ривків і різкого натиску.

Якщо кругом, призначеним для мокрого шліфування, працювати всуху, то при переході до роботи з охолодженням слід почекати, поки коло охолоне, і тільки після цього починати роботу зі змащувально-охолоджувальною рідиною.

Рідина повинна омивати круг по всій його робочій поверхні і своєчасно відводитися, щоб круг не залишалася зануреним в рідину.

При зменшенні діаметра круга через зношування частота обертання його може бути збільшена, при цьому робоча окружна швидкість не повинна перевищувати допустиму для даного круга.

Виправлення круга проводиться спеціальними інструментами, надійно закріпленими в пристосуванні, яке кріпиться на столі, шліфувальної бабці або в центрах верстата. Правлячий інструмент плавно підводять до найбільш виступаючих частин круга, після чого включають подовжню подачу. Подача

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструменту або пристосування для правки круга, як правило, повинна бути механічною.

У кожного шліфувального верстата або групи верстатів, на яких робота проводиться кругами різного діаметру, на видному місці вивіщується табличка із зазначенням допустимого робочої окружної швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата. На верстатах, що працюють на швидкісних режимах зі швидкістю понад 40 м/с, захисний кожух повинен мати забарвлення, відмінну від забарвлення верстата.

Забороняється працювати бічною поверхнею круга, якщо коло не призначений спеціально для даної роботи.

При роботі на шліфувальних верстатах, перш ніж почати роботу, шліфувальник перевіряє, чи надійно закріплено виріб. При роботі в центрах контролюється щільність входження заднього центру в центровий отвір, при установці на оправці або в патроні - надійність затиснення виробу.

При установці і закріпленні вироби на плоско верстаті необхідно закріпити його спеціальними упорами і притискними планками нижче рівня оброблюваної поверхні. Столи плоскошліфувальних верстатів повинні бути забезпечені огороженнями.

При включенні поздовжньої подачі слід перевірити установку і закріплення упорів, що обмежують поздовжній хід столу. Після включення автоматичної подачі мало міцно закріплений упор може відсунутися, перемикання не відбудеться, внаслідок чого коло вріжеться в торцеву поверхню виробу або в передню або задню бабку верстата.

Для безпечного круглого шліфування довгих виробів верстата забезпечуються люнетами.

Не можна проводити виміри виробу на ходу верстата. Перш ніж зупинити верстат, необхідно вимкнути подачу і відвести коло від виробу. Для запобігання поранень очей відлітають частинками металу або абразивними зернами необхідно працювати в захисних окулярах.

Масило шліфувальних верстатів проводиться систематично. Масило приводів

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верстатів під час роботи забороняється.

Шліфувальник повинен досконало знати пристрій всіх механізмів шліфувального верстата, безпомилково вміти включати і вимикати їх, строго дотримувати встановлених режимів роботи і правила безпеки праці.

### 5.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Емальовані апарати із механічними перемішу вальними пристроями , наприклад, - пристрої, являються одним з найважливіших вузлів, що забезпечують довговічність і надійність роботи при різних умовах експлуатації, не тільки окремого апарату, але і всієї технологічної лінії. Застосування високолегованих сталей і різноманітних сплавів для виготовлення змішувальних пристроїв економічно не вигідно, оскільки вони не дешеві і менш довговічні, ніж емальовані пристрої із звичайних низьковуглецевих сталей. Крім того леговані сталі та сплави призводять до забруднення перероблюваного продукту корозійним шламом, що не бажано.

Опори ковзання змішувальних пристроїв приймають не тільки значні силові навантаження, а й хімічну дію агресивного технологічного середовища при високій температурі близько 100 °С і високого тиску до 5 атм [45].

Звичайні емальовані пристрої, не можуть задовольняти сучасних вимог, які до висуваються до опор ковзання перероблюваного устаткування, оскільки мають дійсні діаметри валів, що відрізняються від номінальних на 0,4 - 0,55 мм. Проведені дослідження процесу алмазного шліфування силікатних валів показали технічну можливість і економічну доцільність застосування алмазного інструменту для механічного обробітку валів силікатних пристроїв.

На підставі проведених нами експериментальних досліджень запропоновано технологію виготовлення силікатних пристроїв із шліфованими шийками валів, визначено раціональні технологічні параметри зовнішнього шліфування силікатних деталей типу циліндричних стержнів з використанням абразиво-алмазного інструменту. Також встановлено передумови для створення

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціального токарно-гвинторізного верстату, на якому буде можлива механічна обробка шийок валів силікатних пристроїв (пристроїв).

Для розрахунку техніко-економічної оцінки приймаємо мішалку покриту емаллю та підданій алмазному шліфуванню середніх розмірів ємнісного апарату СЭрн 10, який серійно виготовляється машинобудівним заводом ОАО «Полтавахіммаш».

Загальний річний економічний ефект визначається за формулою [46]:

$$\mathcal{E} = B[C_1(T_2/T_1) - C_2], \quad (5.1)$$

де  $B$  – річна потреба переробних підприємствах в ємнісних силікатних апаратах, тобто в силікатних мішалках,  $B=110$  шт;

$C_1$  – фактична собівартість силікатних пристроїв з не шліфованими шийками валів,  $C_1=2020$  грн;

$C_2$  – фактична собівартість силікатних пристроїв з шліфованими шийками валів,  $C_2 = 2160$  грн;

$T_1$  – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені емальовані пристрої з не шліфованими шийками валів,  $T_1= 950$  годин;

$T_2$  – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені емальовані пристрої з шліфованими шийками валів,  $T_2 = 1250$  годин.

Після підстановки числових значень маємо:

$$\mathcal{E} = 109[2010(1200/900) - 2150] = 57770 \text{ грн.}$$

Річна економія складає

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E} - E_n k, \quad (5.2)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт капітальних витрат,  $E_n = 0,333$ ;

$k$  – капітальні витрати заводу ОАО «Полтавахіммаш» на розробку, виготовлення і монтаж токарно-гвинторізного верстата для механічної обробки шийок валів силікатних пристроїв  $k = 82500$  грн.

Тоді

$$\mathcal{E}_2 = 57770 - 0,33 \cdot 82000 = 30710 \text{ грн.}$$

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термін окупності капіталовкладень становить

$$T_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}_2} = \frac{82000}{30710} = 2,7 \text{ року.} \quad (5.3)$$

Приведений розрахунок не враховує економію від випуску ємнісними апаратами продуктів, що переробляються, за рахунок зменшення часу простоїв.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Алмазне шліфування дозволяє надати спряженим елементам силікатних деталей типу тіл обертання високу розмірну точність геометричної форми та необхідну шорсткість поверхні.

2. Алмазне шліфування відкриває реальну перспективу розширення сфери застосування технології емалювання, тобто нанесення силікатних покриттів, не лише для вільних поверхонь корпусних деталей і вузлів біологічних, медичних, сільськогосподарських машин та апаратів, що в більшості й робиться в наш час, але і для великого класу деталей типу тіл обертання, які мають спряжені елементи.

3. Раціональними технологічними режимами круглого зовнішнього шліфування сталевих силікатних деталей типу тіл обертання синтетичним алмазним інструментом є такі:

- швидкість різання  $v_k=30$  м/с;
- колова передача  $v_g=35$  м/хв;
- глибина різання  $t \leq 20$  мкм.

при подачі в зону різання 3%-ого водного розчину кальцинованої соди в кількості 8 л/хв.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Прейс Г.А. Повышение износостойкости оборудования сахарных заводов. Киев : Колос, 1979, 207 с.
2. Цанткер К.Л., Ивахин С.И. Основные направления в области создания химической аппаратуры с защитными покрытиями и из неметаллических материалов. *Труды НИИЭмальхиммата*, вып. 1. Полтава, 1971. 128 с.
3. Варгин В.В. Эмалирование металлических изделий. Москва : Машиностроение, 1972. 495с.
4. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. Москва : Машиностроение, 1974. 320 с.
5. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов. Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. 359 с.
6. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. Одесса : ОГПУ, 1999. 212 с.
7. Иванов В.В. Технология эмалирование металлических изделий / Иванов В.В. Киев : Машиностроение, 1979. 394 с.
8. Демченко И.С. Формирование пористой структуры эмалевого покрытия. *Стекло и керамика*, 1973. № 3
9. Матюха П. Г. Алмазне шліфування з електроерозійними керуючими діями на робочую поверхню круга / П. Г. Матюха, В. В. Полтавець. Донецьк : ДонНТУ, 2006. 164 с.
10. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин: учеб. пособие / А. В. Якимов, Б. О. Ткаченко, С. Г. Зимин, А. А. Якимов, Н. И. Решетнев, А. М. Шинтасов, В. П. Ларшин. Одесса : ОГПУ, 1997. 272 с.
11. Симхович З.И. Стеклокристаллические покрытия для химической аппаратуры. В кн.: Основне направления конструирования и технологии изготовления аппаратуры с химически устойчивыми и жаропрочными покрытиями, вып. 1. Киев : Укр НИИНТИ, 1970. 87 с.
12. Little I.R. Materiale Protection / I.R. Little, D.H. Hall. 1992. N6. P. 40-44.

					КРМ.133ГМмд_24.15.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		