

Виноградов М.С.¹, Макарова Т.В.², Мастепан М.А.¹, Савенок Д.В.¹¹Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ, Україна²Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ХОНІНГУВАННЯ СИЛІКАТНИМИ БРУСКАМИ НА ПАРАМЕТР ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Важлива роль у вирішенні завдань технологічного забезпечення зносостійкості поверхонь деталей автомобільного двигуна належить фінішним методам абразивно-алмазної обробки, одним з методів яких є хонінгування. Тому у теперішній час продовжується розробка нових, більш досконалих конструкцій інструментів (хонінгувальних головок, абразивних брусків, з більш привабливими характеристиками), що дозволить значно покращити якість поверхонь деталей і підвищити їх ресурс та експлуатаційні характеристики. Використання новітніх абразивних матеріалів робить хонінгування незмінним процесом у машинобудуванні, особливо у виробництві автомобільних двигунів.

В роботі наведено результати дослідження впливу тривалості процесу хонінгування, твердості і зернистості абразиву на параметр шорсткості поверхні гільзи циліндрів автомобільного двигуна.

Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування якість поверхні (R_a) покращується як після обробки алмазними, абразивними так і силікатними брусками. Стабілізація формування остаточної шорсткості поверхні гільзи циліндрів відбувається при хонінгуванні на протязі 2,0 хв. Збільшення часу хонінгування силікатними брусками не впливає на якість поверхні і складає $R_a = 0,12$ мкм.

Відзначено, що висока якість поверхні після обробки силікатними брусками обумовлена утворенням в процесі хонінгування аморфного кремнезему (SiO_2), який під дією абразивних зерен потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею і таким чином оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію.

Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування як алмазними, абразивними так і силікатними брусками знімання металу збільшується.

Встановлено, що знімання металу після обробки силікатними брусками в 1,7-2 рази менше ніж після хонінгування алмазними та абразивними брусками.

Запропоновано для чистового хонінгування гільз циліндрів автомобільних двигунів використовувати силікатні бруски з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28.

Запропоновано призначати припуск на діаметр при чистовому хонінгуванні силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28 у межах 0,01-0,015 мм.

Ключові слова: автомобільний двигун, гільза циліндрів, хонінгування, шорсткість поверхні, силікатний брусок, алмазний брусок, твердість абразиву, зернистість, аморфний кремнезем.

ВСТУП

Підвищення і забезпечення надійності засобів автомобільного транспорту є однією з найважливіших передумов їх ефективного використання. Основна властивість, яка характеризує надійність засобів автомобільного транспорту – довговічність, визначається показниками: термін служби і ресурс. На даний момент ряд двигунів автомобільного транспорту, що експлуатуються в різних умовах, мають недостатній термін служби, що призводить до величезних збитків [1]. У зв'язку з цим пошук нових нестандартних технологічних рішень підвищення зносостійкості поверхонь деталей автомобільних двигунів, за рахунок покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь є актуальною задачею.

Важлива роль у вирішенні завдань технологічного забезпечення зносостійкості поверхонь деталей автомобільних двигунів належить фінішним методам абразивно-алмазної обробки, одним з методів, яких є хонінгування. Хонінгування – це високоточна обробка поверхонь деталей за допомогою абразивного інструменту (хонінгувальної головки) для досягнення необхідної шорсткості, форми та розміру. Технологічні фактори, що впливають на процес хонінгування, можна поділити на кілька основних груп:

1. Матеріал оброблюваної деталі:

-твердість: чим твердіший матеріал, тим більше навантаження та часу потребує хонінгування.

Наприклад, сталь, чавун або сплави мають різні вимоги до процесу;

-тип матеріалу: леговані сталі та сплави можуть вимагати спеціальних ріжучих матеріалів і технологічних режимів.

2. Матеріал хонінгувального інструменту:

-абразив: використовуються різні типи абразивів (корунд, карбід кремнію, алмазні або кубічно-борні нітриди) в залежності від типу матеріалу деталі;

-твердість і зернистість абразиву визначають швидкість зняття матеріалу й досягнення бажаного результату.

3. Технологічні параметри процесу:

-швидкість різання: вибір швидкості залежить від матеріалу деталі та інструменту. Занадто висока швидкість може призвести до перегріву, зносу інструменту та втрати точності;

-тиск хонінгувальних каменів: оптимальний тиск важливий для забезпечення рівномірного зняття матеріалу та уникнення деформацій;

-кількість ходів і тривалість процесу: від кількості повторних проходів залежить якість обробки, а також досягнення потрібних параметрів точності та шорсткості поверхні.

4. Застосування охолоджуючо-мастильних рідин:

-тип рідини: масла або емульсії використовуються для охолодження зони обробки, зменшення тертя і виведення стружки;

-подавання рідини: якісна подача охолоджувальних рідин важлива для уникнення перегріву інструменту та деталі.

Ці фактори впливають на результат процесу, тому важливо їх враховувати для досягнення потрібної якості обробки.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз відомих публікацій показує, що для забезпечення необхідної шорсткості поверхні при чистовому хонінгуванні в межах $R_a = 0,14-0,16$ мкм, необхідно вибирати оптимальні параметри хонінгування, а також створювати належний мікрорельєф поверхні, необхідний для утримання на поверхні гільз циліндра шару масла і зменшення зношування в процесі роботи. Рекомендується оптимальне співвідношення колової та осьової швидкостей в межах 2-4, що забезпечує кут перетину маслоутримуючих рисок α в діапазоні $45^\circ-60^\circ$ [2].

В роботі [3] встановлено, що режими різання при хонінгуванні суттєво впливають як на параметр шорсткості поверхні R_a , так і на продуктивність процесу абразивного хонінгування. Доведено, що найбільший вплив на параметр R_a мають колова і осьова швидкості руху головки і питомий тиск брусків на поверхню оброблення. Такі технологічні фактори, як кількість брусків у хоні, густина та склад мастильно-охолоджуючої рідини також мають вплив на процес абразивного хонінгування, але їх значення невисокі у порівнянні з наведеними основними режимами різання.

В роботі [4] розглянуті параметрами процесу хонінгування: колова і осьова швидкості руху головки, величина радіальної подачі брусків (питомий тиск). Оптимізовано режим хонінгування силікатними брусками. Встановлено, що після обробки алмазними, абразивними та силікатними брусками якість поверхні покращується при збільшенні колової швидкості і погіршується при збільшенні осьової швидкості. Відзначено, що після обробки алмазними, абразивними та силікатними брусками знімання металу збільшується при збільшенні осьової швидкості брусків і зменшується при збільшенні колової швидкості. Підтверджено, що після обробки алмазними брусками знімання металу збільшується і якість поверхні погіршується при збільшенні контактного тиску брусків. і покращується після обробки абразивними та силікатними брусками. Після хонінгування абразивними та силікатними брусками знімання металу плавно зменшується при збільшенні контактного тиску брусків.

Таким чином, загальними проблемами є підвищення ресурсу і експлуатаційних характеристик деталей автомобільного двигуна та їх якості поверхні за рахунок оптимізації технологічних факторів хонінгування і розробки нових, більш досконалих складів абразивних брусків, з більш привабливими характеристиками. Використання новітніх абразивних матеріалів робить хонінгування незмінним процесом у машинобудуванні, особливо у виробництві автомобільних двигунів.

Оптимізація технологічних параметрів хонінгування, таких як швидкість руху головки, вибір матеріалу та зернистості абразивних брусків, а також кінематичні характеристики процесу, є ключовими для досягнення високої якості обробленої поверхні деталей автомобільних двигунів. Подальші дослідження в цій галузі сприятимуть удосконаленню технологічних процесів та підвищенню експлуатаційних характеристик двигунів.

Враховуючи вище наведене, виникає необхідність дослідити вплив технологічних факторів хонінгування силікатними брусками на параметр шорсткості обробленої поверхні.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Метою дослідження є моделювання впливу технологічних факторів хонінгування силікатними брусками на параметр шорсткості поверхні деталей автомобільного двигуна. Задачами дослідження є наступні: обрати та підготувати гільзи циліндрів автомобільного двигуна; запропонувати режим обробки поверхні силікатними брусками; визначити вплив часу хонінгування на якість оброблюваної поверхні; визначити вплив зернистості абразиву на якість оброблюваної поверхні; визначити вплив твердості абразиву на якість оброблюваної поверхні.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі, яка пропонується проведено дослідження впливу тривалості процесу хонінгування, твердості і зернистості абразиву на параметр шорсткості обробленої поверхні.

Досліди проводили на хонінгувальному верстаті моделі 3Г833, який призначений до остаточного оздоблення отворів у гільзах двигунів внутрішнього згоряння та інших деталях. Механізми верстата здійснюють за циклом одночасний зворотно-поступальний і обертальний рухи хонінгувальної головки і радіальну подачу брусків, що забезпечує збільшення по діаметру робочої частини інструменту в процесі обробки. Конструкція хонінгувальної головки являє собою циліндр, у якому вмонтовані хонінгувальні бруски, що переміщуються з точністю до 0,01 мм. Бруски можуть бути як абразивними, так і алмазними.

Для проведення дослідів були відібрані гільзи циліндрів автомобільного двигуна, які виготовлені із сірого легованого чавуну твердістю HB 217-250 (ДСТУ 8851:2019). Підготовка гільз для дослідів проводилася у два етапи: розточка і чорнове хонінгування алмазними брусками на металополімерній зв'язці BC12 зернистістю 125/100 (АБХ 125×12×6, 125/100, BC12) з вихідною шорсткістю поверхні гільз $R_a=0,8$ мкм [4].

В роботі [4] запропоновано режим обробки силікатними брусками для досягнення мінімального значення параметра шорсткості (R_a) оброблюваної поверхні. Приймаючи це до уваги, дослідження проводили на наступному режимі: тиск хонінгувального бруска на оброблювану заготовку 0,25 МПа, колова швидкість хонінгувальної головки – 0,5 м/с (30 м/хв), осьова швидкість хонінгувальної головки – 0,3 м/с (18 м/хв).

При визначенні впливу часу хонінгування на якість оброблюваної поверхні (R_a) час обробки змінювався від 0,5 хв. до 3,0 хв. з інтервалом 0,5 хв. У якості брусків для чистового хонінгування були виготовлені силікатні бруски СБХ 100×8×7 з абразивних мікропорошків карбіду кремнію зеленого марки 63 С зернистістю М40/28. Для порівняння працездатності силікатних брусків використали алмазні бруски, які виготовлені на полімерній зв'язці В2-04 з мікропорошків синтетичного алмазу марки АСМ зернистістю 40/28 (АБХ 100×8×5, 40/28, В2-04) та абразивні бруски хонінгувальні на основі карбіду кремнію зеленого марки 63С зернистістю М40/28 (АБХ 100×8×7, КЗ-40), що пропонується для чистового хонінгування [5].

При визначенні впливу зернистості абразиву на якість оброблюваної поверхні (R_a) зернистість абразиву змінювалася від 28 мкм до 80 мкм. Для чистового хонінгування були виготовлені силікатні бруски СБХ 100×8×7 з абразивних мікропорошків карбіду кремнію зеленого зернистістю 80/63, 63/50, 50/40, 40/28, 28/20. Для порівняння працездатності силікатних брусків використали алмазні бруски, які виготовлені на полімерній зв'язці В2-04 з мікропорошків синтетичного алмазу марки АСМ (АБХ 100×8×5, В2-04) зернистістю 80/63, 63/50, 50/40, 40/28, 28/20 та абразивні бруски хонінгувальні на основі карбіду кремнію зеленого марки 63С зернистістю 80/63, 63/50, 50/40, 40/28, 28/20.

При визначенні впливу твердості абразиву на якість оброблюваної поверхні (R_a) твердість абразиву змінювалася від 1500 кгс/мм² до 4500 кгс/мм². Для чистового хонінгування були виготовлені силікатні бруски СБХ 100×8×7 з абразивних мікропорошків електрокорунду (мікротвердість 1000-2200 кгс/мм²), карбіду кремнію зеленого (2850-3600 кгс/мм²), карбіду титану (2980-3300 кгс/мм²), карбіду бору (4000-5000 кгс/мм²) зернистістю 40/28. Для порівняння працездатності силікатних брусків використали алмазні бруски, які виготовлені на полімерній зв'язці В2-04 з мікропорошків синтетичного алмазу (8425-10000 кгс/мм²) марки АСМ (АБХ 100×8×5, В2-04) та абразивні бруски з абразивних мікропорошків електрокорунду (мікротвердість 1000-2200 кгс/мм²), карбіду кремнію зеленого (2850-3600 кгс/мм²), карбіду титану (2980-3300 кгс/мм²), карбіду бору (4000-5000 кгс/мм²) зернистістю 40/28.

Оцінка велася за якістю поверхні та зніманню металу. Дослідження шорсткості поверхні здійснювали за допомогою профілографа-профілометра моделі 201. Найкращою працездатністю мали ті бруски, після обробки яких зразки мали найменшу шорсткість.

Знімання металу визначали ваговим методом, тобто зважуванням на аналітичних терезах типу Sartorius CPA 224S (рис. 1) з точністю $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ г (клас точності згідно ДСТУ EN 45501-1) до та після випробувань. Після обробки зразки промивалися водою і ацетоном [6].

На рис. 2-4 наведено результати досліджень. Аналізуючи рис. 2, можна відмітити, що при збільшенні часу хонінгування якість поверхні (R_a) покращується після обробки алмазними, абразивними та силікатними брусками. При хонінгуванні від 0,5 хв. до 3 хв. алмазними брусками якість поверхні покращується з $R_a = 0,40$ мкм до $R_a = 0,32$ мкм; абразивними брусками – з $R_a = 0,44$ мкм до $R_a = 0,34$ мкм; силікатними брусками – з $R_a = 0,20$ мкм до $R_a = 0,12$ мкм.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд терез типу Sartorius CPA 224S

При обробці алмазними і абразивними брусками стабілізація формування остаточної шорсткості поверхні гільзи циліндрів починається з 2,5 хв. Автори роботи [7] стверджують, що стабілізація процесу обумовлено різальними властивостями абразивних хонінгувальних брусків, внаслідок чого через деякий час (t , с.) відбувається припрацювання інструментів з поверхнею оброблення.

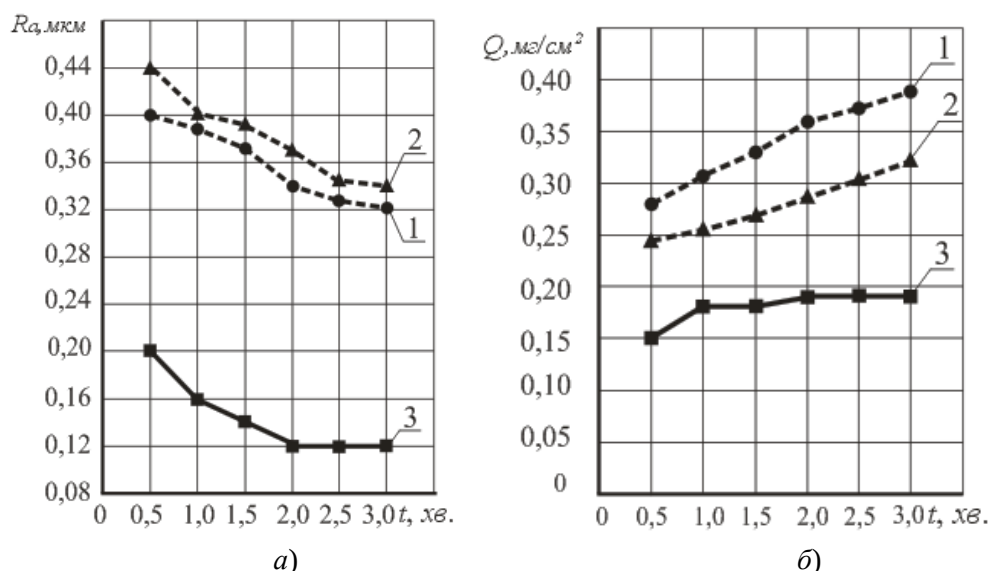
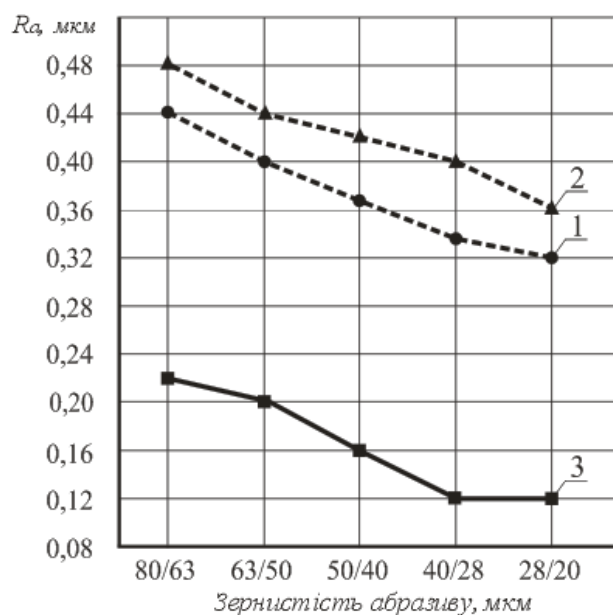


Рисунок 2 – Зміна шорсткості поверхні (R_a , мкм) (а) та значення знімання металу (Q , мг/см²) (б) при хонінгуванні гільз циліндрів із сірого легованого чавуну ІЧГ-33М твердістю НВ 217-250 від часу (t , хв.) після обробки брусками: 1 – алмазними; 2 – абразивними; 3 – силікатними

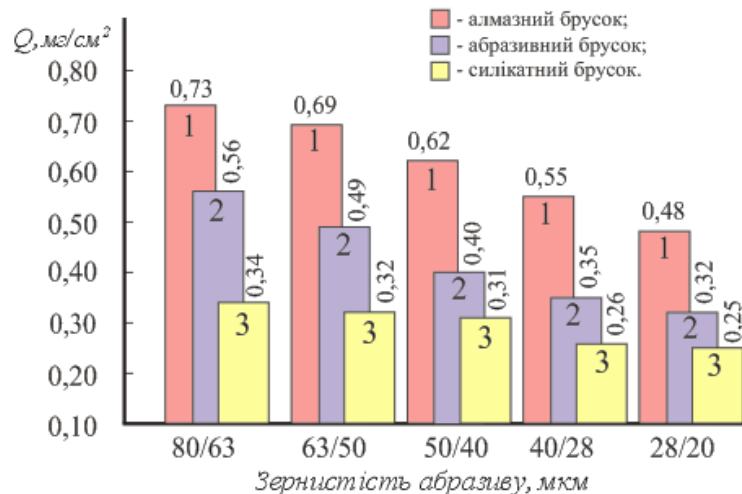
Крім цього, можна відмітити, що під час обробки силікатними брусками протягом 2,0, 2,5 та 3,0 хв. шорсткість поверхні дорівнює $R_a = 0,12$ мкм. Можна стверджувати, що стабілізація формування остаточної шорсткості поверхні гільзи циліндрів відбувається при хонінгуванні на

протязі 2,0 хв. Збільшення часу хонінгування силікатними брусками не впливає на якість поверхні і цього часу достатньо для завершення операції.

Результати дослідження, які наведені на рис. 1, б показують, що при збільшенні часу хонінгування алмазними, абразивними та силікатними брусками знімання металу (Q , $\text{мг}/\text{см}^2$) збільшується. При хонінгуванні алмазними брусками протягом 0,5 хв. знімання металу $Q = 0,28 \text{ мг}/\text{см}^2$ і при збільшенні часу обробки до 3,0 хв. знімання металу зростає до $Q = 0,39 \text{ мг}/\text{см}^2$. При хонінгуванні абразивними брусками протягом 0,5 хв. знімання металу $Q = 0,24 \text{ мг}/\text{см}^2$ і при збільшенні часу обробки до 3,0 хв. знімання металу зростає до $Q = 0,32 \text{ мг}/\text{см}^2$.



а)



б)

Рисунок 3 – Зміна шорсткості поверхні (R_a , мкм) (а) та значення знімання металу (Q , $\text{мг}/\text{см}^2$) (б) при хонінгуванні гільз циліндрів із сірого легованого чавуну ІЧГ-33М (HB 217-250) від зернистості абразиву (мкм) після обробки брусками: 1 – алмазними; 2 – абразивними; 3 – силікатними

При хонінгуванні силікатними брусками $t = 0,5$ хв. знімання металу складає $Q = 0,15 \text{ мг}/\text{см}^2$ і при $t = 3,0$ хв. знімання металу становить $Q = 0,19 \text{ мг}/\text{см}^2$. Можна зробити висновок, що після обробки силікатними брусками знімання металу в 1,7-2 рази менше ніж після хонінгування алмазними та абразивними брусками. Цей висновок допоможе у визначенні припусків на хонінгування силікатними брусками.

Аналізуючи рис. 2, а, відзначаємо, що після обробки гільз циліндрів алмазними брусками при зменшенні зернистості абразиву шорсткість поверхні зменшується з $R_a = 0,44 \text{ мкм}$ (зернистість абразиву 80/63) до $R_a = 0,32 \text{ мкм}$ (зернистість абразиву 28/20). При хонінгуванні абразивними

брусками шорсткість поверхні зменшується з $R_a = 0,48$ мкм до $R_a = 0,36$ мкм. Після обробки гільз силікатними брусками шорсткість поверхні зменшується з $R_a = 0,22$ мкм (зернистість абразиву 80/63) до $R_a = 0,12$ мкм (зернистість абразиву 40/28) (рис. 2, а, крива 3). Після хонінгування силікатними брусками з абразивом 28/20 шорсткість поверхні не змінюється і складає $R_a = 0,12$ мкм. Низьке значення параметру шероховатості обробленої поверхні відбувається за рахунок насичення обробленої поверхні оксидом кремнію (SiO_2), який потрапляє у западини мікронерівностей і з'єднується з поверхнею. Застосування силікатних хонінгувальних брусків до чистового

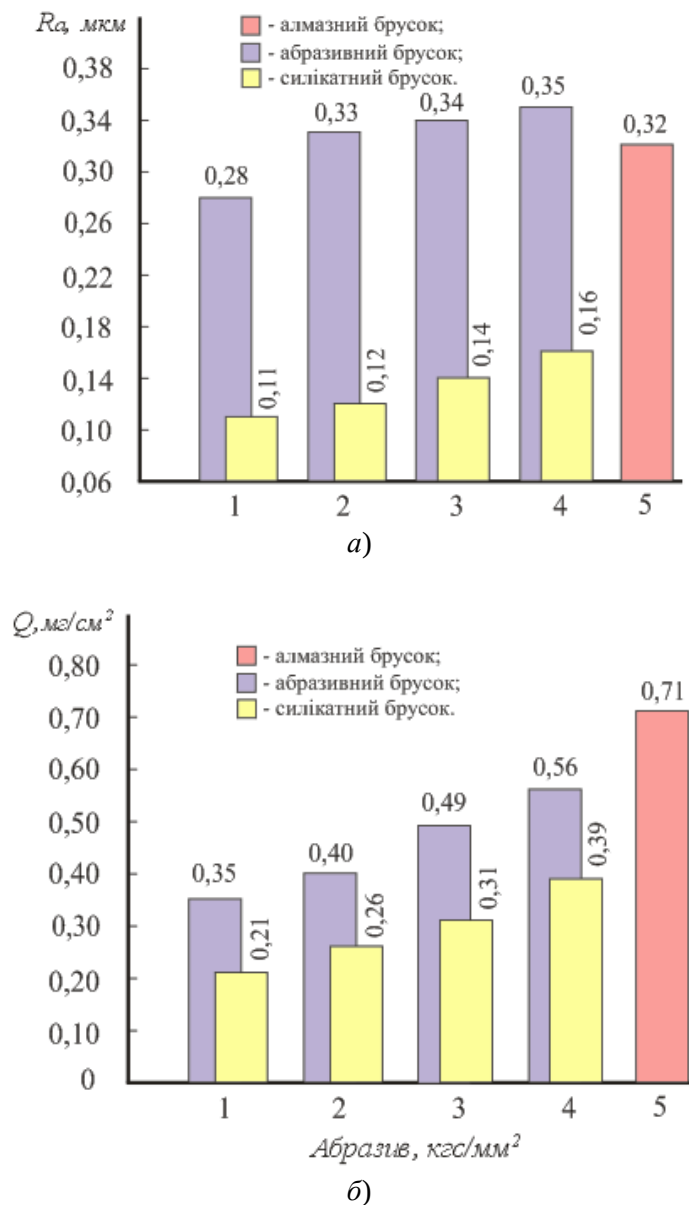


Рисунок 4 – Зміна шорсткості поверхні (R_a , мкм) (а) та значення знімання металу (Q , мг/см²) (б) при хонінгуванні гільз циліндрів із сірого легованого чавуну ІЧГ-33М (НВ 217-250) після обробки брусками з абразивом мікротвердістю: 1 – електрокорунд (1000-2200 кгс/мм²); 2 – карбід кремнію зелений (2850-3600 кгс/мм²); 3 – карбід титану (2980-3300 кгс/мм²); 4 – карбід бору (4000-5000 кгс/мм²); 5 – алмаз синтетичний (8425-10000 кгс/мм²)

хонінгування дозволить змінити структуру поверхневого шару обробленої поверхні, що узгоджується з роботою [8].

На підставі вище наведених результатів відзначаємо, що нема сенсу використовувати абразив зернистістю 28/20 для виготовлення силікатних хонінгувальних брусків. Пропонуємо для чистового хонінгування гільз циліндрів автомобільних двигунів використовувати силікатні бруски з абразивом карбиду кремнію зеленого зернистістю 40/28.

Аналіз залежності знімання металу (Q , мг/см²) від зернистості абразиву (рис. 2, б), показує, що при зменшенні зернистості абразиву зменшується значення знімання металу. При зменшенні

зернистості абразиву алмазного бруска від 80/63 до 28/20 знімання металу (Q) зменшується від $Q = 0,73 \text{ мг/см}^2$ до $Q = 0,48 \text{ мг/см}^2$, абразивного бруска – від $Q = 0,56 \text{ мг/см}^2$ до $Q = 0,32 \text{ мг/см}^2$, силікатного бруска – знімання металу (Q) зменшується від $Q = 0,34 \text{ мг/см}^2$ до $Q = 0,25 \text{ мг/см}^2$. Таким чином можна відмітити, що при хонінгуванні чавунних гільз циліндрів силікатними брусками знімання металу в 1,7-2 рази менше ніж після обробки алмазними брусками.

Аналізуючи рис. 3, *а* видно, що при хонінгуванні гільз циліндрів із сірого легованого чавуну ІЧГ-33М твердістю НВ 217-250 параметр R_a шорсткості поверхні збільшується при збільшенні мікротвердості абразиву. Найменше значення шорсткості $R_a = 0,11$ (рис. 3, *а*) при обробці силікатними хонінгувальними брусками спостерігається з абразивом електрокорунду (мікротвердість 1000-2200 кгс/мм^2) та карбіду кремнію зеленого (мікротвердість 2850-3600 кгс/мм^2) – $R_a = 0,12 \text{ мкм}$. Низьке значення R_a параметру шерохватості обробленої поверхні відбувається за рахунок насичення оксидом кремнію (SiO_2).

Найбільше значення R_a спостерігаються при хонінгуванні силікатними брусками з абразивом карбіду бора (мікротвердість 4000-5000 кгс/мм^2) і дорівнює $R_a = 0,18 \text{ мкм}$. При хонінгуванні алмазними брусками (мікротвердість 8425-10000 кгс/мм^2) параметр R_a шорсткості обробленої поверхні становить $R_a = 0,22 \text{ мкм}$. Враховуючи результати досліджень (рис. 3, *а*) і рекомендації [5], пропонуємо чистове хонінгування виконувати силікатними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого. Його зерна мають найгострішу форму (мінімальний кут загострення при вершині зерна) та найменший (у порівнянні з електрокорундовими та монокорундовими зернами) радіус округлення одиничного зерна. Саме ці фактори і є тими найвпливовішими серед інших, які безпосередньо поліпшують умови технологічного процесу різання матеріалів і зрізання стружки [7].

Аналіз рис. 3, *б* показав, що при збільшенні мікротвердості абразивних зерен знімання металу (Q , мг/см^2) збільшується і найбільше значення Q спостерігається при хонінгуванні гільз циліндрів силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбіду бора (мікротвердість 4000-5000 кгс/мм^2) і дорівнює $Q = 0,39 \text{ мг/см}^2$. Найменші значення $Q = 0,21 \text{ мг/см}^2$ спостерігаються при обробці силікатними хонінгувальними брусками з абразивом електрокорунду (мікротвердість 1000-2200 кгс/мм^2). При хонінгуванні силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого (мікротвердість 2850-3600 кгс/мм^2) та карбіду титану (мікротвердість 2980-3300 кгс/мм^2) $Q = 0,26 \text{ мг/см}^2$ та $Q = 0,31 \text{ мг/см}^2$, відповідно.

Порівнюючи значення Q при обробці силікатними брусками і алмазними хонінгувальними брусками, відзначаємо, що найбільше значення Q спостерігається у алмазних брусків – $Q = 0,55 \text{ мг/см}^2$. Це відбувається, на нашу думку, за рахунок високої твердості алмазу (8425-10000 кгс/мм^2). Таким чином можна стверджувати, що знімання металу при хонінгуванні силікатними брусками в 1,7-2 рази менше, ніж при обробці алмазними брусками. Ці результати враховуємо при призначенні припуску на чистову обробку силікатними брусками..

Відповідно роботи [4], припуск на діаметр при хонінгуванні алмазними брусками чавунних поверхонь (НВ 240) зернистістю 40/28 складає 0,02-0,03 мм . Оскільки знімання металу при хонінгуванні силікатними брусками в 1,7-2 рази менше, ніж при обробці алмазними брусками, тоді при чистовому хонінгуванні силікатними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28 пропонуємо призначати припуск на обробку гільз циліндрів із сірого легованого чавуну твердістю НВ 217-250 у межах 0,01-0,015 мм .

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати дослідження дають можливість стверджувати, що збільшення часу хонінгування силікатними брусками не впливає на якість поверхні і складає $R_a = 0,12 \text{ мкм}$. На нашу думку, отримання високої якості поверхні гільзи циліндрів ($R_a = 0,12 \text{ мкм}$) формується в результаті взаємодії двох складових: водної мастильної охолоджувальної рідини, яка необхідна для охолодження деталі та виведення стружки з зони різання, і силікатної композиції, яка є одним з компонентів силікатного бруска. Під час хонінгування на поверхні, яка обробляється, відбуваються хімічні зміни в результаті чого утворюється оксид кремнію (SiO_2). За рахунок колового і осьового руху хонінгувальної головки та контактного тиску брусків на поверхню гільзи циліндрів відбувається зрізання абразивними зернами найвищих вершин нерівностей. В зоні контакту абразивних зерен і вершин нерівностей відбувається підвищення температури, а оскільки навколо абразиву знаходиться SiO_2 , то при попаданні останнього в зону зіткнення відбувається утворення аморфного кремнезему (SiO_2) [8]. Під дією абразивних зерен SiO_2 потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею. При багаторазовому впливі абразиву відбувається щільне «пакування» SiO_2 глибоких западин нерівностей і поверхня насичується оксидом кремнію, що дозволяє отримати високу якість поверхні.

Аналіз впливу технологічних факторів хонінгування силікатними брусками дає можливість призначати припуск на діаметр при чистовому хонінгуванні силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28 у межах 0,01-0,015 мм.

Отримані результати дослідження можуть сприятимуть удосконаленню технологічних процесів відновлення та покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей автомобільного двигуна.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування якість поверхні (R_a) покращується як після обробки алмазними, абразивними так і силікатними брусками. Стабілізація формування остаточної шорсткості поверхні гільзи циліндрів відбувається при хонінгуванні на протязі 2,0 хв. Збільшення часу хонінгування силікатними брусками не впливає на якість поверхні і складає $R_a = 0,12$ мкм.

2. Відзначено, що висока якість поверхні після обробки силікатними брусками обумовлена утворенням в процесі хонінгування аморфного кремнезему (SiO_2), який під дією абразивних зерен потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіплюється з поверхнею і таким чином оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію.

3. Встановлено, що при збільшенні часу хонінгування як алмазними, абразивними так і силікатними брусками знімання металу збільшується.

4. Встановлено, що знімання металу після обробки силікатними брусками в 1,7-2 рази менше ніж після хонінгування алмазними та абразивними брусками.

5. Запропоновано для чистового хонінгування гільз циліндрів автомобільних двигунів використовувати силікатні бруски з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28.

6. Запропоновано призначати припуск на діаметр при чистовому хонінгуванні силікатними хонінгувальними брусками з абразивом карбіду кремнію зеленого зернистістю 40/28 у межах 0,01-0,015 мм.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лузан С.О. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей: курс лекцій. Харків: НТУ «ХПІ», 2023. 118 с.

2. Лапенко Г.О., Лапенко Т.Г., Кузьменко О.І. Оптимізація технологічного процесу хонінгування блоків циліндрів автотракторних двигунів алмазними брусками. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Visnyk KhNTUSH_199_2019_28.pdf \(btu.kharkov.ua\)](https://visnyk.khntush.199-2019-28.pdf)

3. Гавриш А. П., Киричок П. О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. Вплив технологічних факторів хонінгування на параметри шорсткості і точності поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин. *Прогресивні технології і системи машинобудування*. Вип. 1, 2 (46), с. 56-64. 2013.

4. Дослідження впливу параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні / Виноградов М.С., Макарова Т.В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. *Вісник машинобудування та транспорту*, №1(19), С. 3-10. 2024.

5. Бруски хонінгувальні. URL : [Бруски хонінгувальні в Києві від коМПанії "ТЕХДІАМАНТ". \(techdiamond.kiev.ua\)](https://techdiamond.kiev.ua) (дата звернення: 12.01.2025).

6. Виноградов М.С., Захаров В.О. Дослідження впливу зернистості абразиву силікатних брусків на якість обробленої поверхні. *Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, №4 (31), С. 4-8. 2023.

7. Вплив технологічних факторів хонінгування на параметри шорсткості і точності поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / Гавриш А.П., Киричок П.О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. *Прогресивні технології і системи машинобудування*. Вип. 1, 2 (46), С. 56-64. 2013.

8. Виноградов М.С., Височин Т.О. Експериментальне дослідження зносостійкості поверхонь оброблених силікатними брусками. *Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, №4 (31), С. 9-15. 2023.

REFERENCES

1. Luzan S.O. Obgruntuvannia ta vdoskonalennia tekhnolohii vidnovlennia detalei: kurs lektsii. Kharkiv: NTU «KhPI», 2023. 118 s.

2. Lapenko H. O., Lapenko T. H., Kuzmenko O. I. Optymizatsiia tekhnolohichnoho protsesu khoninhuvannia blokiv tsylindriv avtotraktornykh dyvahuniv almaznymy bruskami. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: [Visnyk KhNTUSH_199_2019_28.pdf \(btu.kharkov.ua\)](https://visnyk.khntush.199-2019-28.pdf)

3. Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Roik T.A., Vitsiuk Yu.Iu. Vplyv tekhnolohichnykh faktoriv khoninhuvannia na parametry shorstkosti i tochnosti poverkhon kompozytnykh pidshypnykiv kovzannia polihrafichnykh mashyn. Prohresyvni tekhnolohii i systemy mashynobuduvannia. Vyp. 1, 2 (46), s. 56-64. 2013.

4. Doslidzhennia vplyvu parametriv protsesu khoninhuvannia sylikatnymi bruskami na yakist obroblenoi poverkhni / Vynohradov M.S., Makarova T.V., Mastepan M. A., Savenok D. V. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, №1(19), S. 3-10. 2024.

5. Brusky khoninhuvalni. URL : Brusky khoninhuvalni v Kyievi vid koMPanii "TEKhDIAMANT". (techdiamond.kiev.ua) (data zvernennia: 12.01.2025).

6. Vynohradov M.S., Zakharov V.O. Doslidzhennia vplyvu zernystosti abrazyvu sylikatnykh bruski na yakist obroblenoi poverkhni. Zbirnyk naukovykh prats Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva i arkhitektury, №4 (31), S. 4-8. 2023.

7. Vplyv tekhnolohichnykh faktoriv khoninhuvannia na parametry shorstkosti i tochnosti poverkhon kompozytnykh pidshypnykiv kovzannia polihrafichnykh mashyn / Havrysh A.P., Kyrychok P.O., Roik T.A., Vitsiuk Yu.Iu. Prohresyvni tekhnolohii i systemy mashynobuduvannia. Vyp. 1, 2 (46), S. 56-64. 2013.

8. Vynohradov M.S., Vysochyn T.O. Eksperymentalne doslidzhennia znosostiikosti poverkhon obroblynykh sylikatnymi bruskami. Zbirnyk naukovykh prats Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva i arkhitektury, №4 (31), S. 9-15. 2023.

M. Vynohradov, T. Makarova, M. Mastepan, D. Savenok Study of the influence of technological factors of honing with silicate bars on the surface roughness of automobile engine parts.

Finishing methods of abrasive diamond processing, one of which is honing, play an important role in solving the problems of technological support of wear resistance of the surfaces of automobile engine parts. Therefore, the development of new, more advanced tool designs (honing heads, abrasive bars with more attractive characteristics) is currently underway, which will significantly improve the quality of the surfaces of parts and increase their service life and performance. The use of the latest abrasive materials makes honing an unchanging process in mechanical engineering, especially in the production of automotive engines.

This paper presents the results of studying the effect of the honing process duration, abrasive hardness and grit on the surface roughness parameter of the cylinder liner of an automobile engine.

It has been established that with an increase in honing time, the surface quality (Ra) improves both after processing with diamond, abrasive, and silicate bars. Stabilization of the formation of the final surface roughness of the cylinder liner occurs when honing for 2.0 minutes. An increase in the honing time with silicate bars does not affect the surface quality and amounts to $Ra = 0.12 \mu m$.

It is noted that the high quality of the surface after honing with silicate bars is due to the formation of amorphous silica (SiO_2) during honing, which, under the action of abrasive grains, falls into the depressions of the treated surface and adheres to the surface, thus saturating the treated surface with silicon oxide.

It was found that with an increase in the honing time with both diamond, abrasive and silicate bars, metal removal increases.

It was found that the metal removal after honing with silicate stones is 1.7-2 times less than after honing with diamond and abrasive stones.

It is proposed to use silicate stones with a green silicon carbide abrasive with a grain size of 40/28 for the finishing honing of automobile engine cylinder liners.

It is proposed to assign a diameter allowance for finishing honing with silicate honing bars with a 40/28-grit green silicon carbide abrasive within 0.01-0.015 mm.

Keywords: automobile engine, cylinder liner, honing, surface roughness, silicate block, diamond block, abrasive hardness, grain size, amorphous silica.

ВИНОГРАДОВ Микола Семенович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, e-mail: m.s.vynohradov@donnaba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7896-4980>.

МАКАРОВА Тамара Володимирівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tomamakarova@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0669-8350>.

МАСТЕПАН Микола Антонович – кандидат технічних наук, доцент, виконуючий обов'язки завідувача кафедри автомобільного транспорту, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, e-mail: m.a.mastepan@donnaba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7389-2909>.

САВЕНОК Дмитро Валерійович – кандидат технічних наук, виконуючий обов'язки декана механічного факультету, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, e-mail: <https://orcid.org/0000-0002-1703-2696>.

Mykola VYNOGRADOV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Road Transport, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: m.s.vynohradov@donnaba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7896-4980>.

Tamara MAKAROVA – Cand. Sc. (Ec.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tomamakarova@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0669-8350>.

Mykola MASTEPAN - Ph. D., associate professor, head of the department of automobile transport, Donbas National Academy of Construction and Architecture, e-mail: mastepanma@gmail.com.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7389-2909>

Dmytro SAVENOK – Candidate of Technical Sciences, Acting Dean of the Faculty of Mechanical Engineering, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: <https://orcid.org/0000-0002-1703-2696>.

DOI 10.36910/automash.v1i24.1719