

**В. А. Макаров<sup>1</sup>**  
**М. А. Мастепан<sup>2</sup>**  
**М. С. Виноградов<sup>2</sup>**  
**Д. С. Бєляєв<sup>2</sup>**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗЕРНИСТОСТІ АБРАЗИВУ СИЛІКАТНОЇ ПАСТИ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У теперішній час розроблено безліч технологічних способів, що дозволяють змінювати будову та властивості поверхневих шарів металу в потрібному напрямку або створювати шари з наперед заданими властивостями. Застосування цих способів дозволяє підвищувати зносостійкість, стійкість до руйнування втоми та інші експлуатаційні властивості автомобільних деталей. Одним з таких способів є притирання абразивними сумішами. Технологія притирання полягає в нанесенні абразивних сумішей на поверхню деталі та подальшій механічній обробці з використанням спеціальних пристроїв.

В роботі наведено результати експериментального дослідження впливу зернистості абразиву силікатної пасти на якість поверхонь тертя. Для проведення дослідження були виготовлені силікатні суміші з абразивом електрокорунду різної зернистості. З метою порівняння працездатності силікатної пасти були відібрані існуючі абразивні пасти «КТ» з абразивом карбїду титану аналогічної зернистості. Дослідження виконували на спеціальній установці, що дозволяє з високою точністю відтворити процес обробки абразивною сумішшю в лабораторних умовах. Оцінка велася за тривалістю притирання, знімання металу та якістю поверхні. Стабілізація коефіцієнта тертя показувала завершення процесу притирання.

Проведене дослідження підтверджує, що зі збільшенням зернистості абразиву силікатної суміші збільшується час формування поверхневого шару та кількість металу, який знімається. Доведено, що висока якість поверхні після обробки силікатним складом обумовлена появою в процесі притирання аморфного кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ), який посилює роботу абразивних зерен і спричиняє зменшення дії абразиву, що дряпає. Під дією абразивних частинок  $\text{SiO}_2$  потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею. Встановлено, що продуктивність притирання силікатним складом в 1,5 рази вище, ніж при обробці поверхонь пастою «КТ». Виявлено, що при обробці поверхонь силікатним складом з абразивом електрокорунду знімання металу в 1,8 рази менше, ніж при обробці пастою «КТ». Запропоновано призначати припуск на обробку силікатною пастою від 0,035 до 0,07 мм.

**Ключові слова:** результат дослідження, абразив, зернистість абразиву, силікатна паста, шар поверхневий, метал, припуск на обробку.

### **Вступ**

Одним із провідних напрямків у вирішенні завдань щодо розвитку економіки України є вдосконалення існуючої та розробка нової прогресивної технології машинобудівного виробництва. Це в першу чергу відноситься до процесів чистої обробки, при яких можуть бути отримані оптимальні експлуатаційні характеристики, висока точність та якість поверхонь відповідних сполучених деталей.

У теперішній час розроблено безліч технологічних способів, що дозволяють змінювати будову та властивості поверхневих шарів металу в потрібному напрямку або створювати шари з наперед заданими властивостями. Застосування цих способів дозволяє підвищувати зносостійкість, стійкість до руйнування втоми та інші експлуатаційні властивості автомобільних деталей. Одним з таких способів є притирання абразивними сумішами.

Технологія притирання полягає в нанесенні абразивних сумішей на поверхню деталі та подальшій механічній обробці з використанням спеціальних пристроїв.

Абразивні пасти є сумішшю абразивних зерен з наповнювачами, до складу яких можуть входити в певних пропорціях загусники, хімічно активні речовини, інгібітори корозії та інші речовини.

Ефективність будь-якого абразивного складу визначається видом абразиву. Наприклад, при виготовленні пасти для притирання клапанів застосовуються мікропорошки корунду, електрокорунду, карбїду кремнію, бору та титану. За розмірами зерен вони застосовуються для грубого притирання та отримання поверхні з шорсткістю  $R_a = 1,25$  мкм – 50% (зернистість від 5 до 3), для попереднього притирання з отриманням шорсткості  $R_a = 0,63$  мкм – 50% (мікропорошки від M28 до M14) і для

остаточного притирання з отриманням шорсткості  $R_a = 0,16$  мкм – 50 % (мікропорошки від M10 до M5) [1].

У теперішній час в Україні для притирання клапанів застосовують абразивну пасту «КТ» (виробник України, Полтавський алмазний завод). Абразивні пасту «КТ» складаються з класифікованих по зернистості порошоків карбиду титану та наповнювача – композиції зі змащувальних матеріалів та поверхнево-активних речовин [2].

На характер формування поверхневого шару оброблених деталей у процесі полірування істотно впливає розмір абразивних зерен. Зменшення значень висотних параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  та  $R_{max}$  відбувається із зменшенням зернистості абразиву [3].

При абразивному поліруванні зразків з різних матеріалів (з різною вихідною шорсткістю поверхонь) зі збільшенням значень висотних параметрів шорсткості до обробки відношення  $R_a / R_{max}$  зменшується (при рівних значеннях зернистості абразиву, тиску та часу обробки) [3].

У роботі [4] автором запропоновано склад силікатної пасту [5], який можна використовувати для притирання клапанів двигунів внутрішнього згорання. На підставі цього, стоїть завдання дослідити вплив зернистості абразиву силікатної пасту на якість поверхонь тертя.

*Метою роботи є проведення експериментальних досліджень та отримання фактичних даних впливу абразиву силікатної пасту на якість поверхонь тертя після обробки.*

### Результати дослідження

Для проведення дослідження були приготовлені силікатні склади з абразивом електрокорунду різної зернистості (100/80, 63/50, 50/40). Для порівняння працездатності силікатної пасту були відібрані існуючі абразивні пасту «КТ» з абразивом карбиду титану такої ж зернистості, як у силікатному складі (100/80, 63/50, 50/40).

Дослідження виконували на спеціальній установці, що дозволяє з високою точністю відтворити процес обробки абразивним складом у лабораторних умовах. У якості зразків використовували диски зі сталі 40X (НВ 220) діаметром 50 мм, шириною 10 мм. Контрзразки мали форму циліндрів із чавуну СЧ 18-36 (НВ 170) діаметром 30 мм, з шириною робочої поверхні 3 мм. Вибір матеріалу цих пар тертя був зумовлений його широким поширенням в області машинобудування. Початкова шорсткість поверхонь тертя в усіх зразках була однаковою і становила  $R_a = 1,25$  мкм. До контрзразка підводилося реверсивне обертання, швидкість ковзання якого становила 0,28 м/с, навантаження на зразки – 0,36 МПа.

Оцінка велася за тривалістю притирання, знімання металу та якістю поверхні. Стабілізація коефіцієнта тертя показувала завершення процесу притирання. Знімання металу визначали ваговим методом з точністю  $\pm 2 \cdot 10^{-4}$  г. За допомогою профілографа-профілометра контролювали профіль поверхонь, які оброблялися. Результати випробувань визначалися як середнє арифметичне п'ятьох дослідів з похибкою  $\pm 5$  %.

Одним із факторів, що визначають якість оброблених поверхонь, є мікрогеометрія поверхні. Відомо, що вихідна шорсткість, тобто шорсткість, отримана після обробки, істотно впливає на тертя і зношування. Тому визначення мікрогеометрії поверхонь після обробки є необхідною умовою оцінки якості поверхні. Дослідження шорсткості поверхні здійснювалося за допомогою профілографа-профілометра моделі 201. Найкращу працездатність мав той склад, після обробки яким зразки мали найменшу шорсткість. Результати досліджень наведено на рис. 1–3.

Аналізуючи криві 1б, 2б та 3б (рис. 1), можна відзначити, що при обробці пастою «КТ», спочатку відбувається зниження коефіцієнта тертя за рахунок роботи масляної плівки, оскільки склад виготовлено на основі моторного масла. Починаючи з другої хвилини плівка зношується і в роботу вступають абразивні зерна, що спричиняють збільшення коефіцієнта тертя. Стабілізація коефіцієнта тертя з абразивом зернистістю 63/50 (крива 2б) та 50/40 (крива 3б) відбувається на шостій хвилині, а зернистістю 100/80 (крива 1б) – на п'ятій хвилині.

Значення коефіцієнта тертя при притиранні пастою «КТ» з абразивом зернистістю 100/80 (крива 1б) становить  $f_{mp} = 0,38$ , з абразивом зернистістю 63/50 (крива 2б) –  $f_{mp} = 0,34$  та зернистістю 50/40 (крива 3б) –  $f_{mp} = 0,32$ .

При притиранні силікатним складом (див. рис. 1) у початковий момент (перша хвилина – криві 2а та 3а; друга хвилина – крива 1а) відбувається збільшення коефіцієнта тертя за рахунок дії гострих кромки абразиву. Надалі, можливо, відбувається притуплення цих кромки та обволікання абразиву оксидом кремнію, що спричиняє зниження коефіцієнта тертя [4].

Стабілізація коефіцієнта тертя при притиранні силікатним складом з абразивом зернистістю 63/50 (крива 2а) та 50/40 (крива 3а) відбувається на четвертій хвилині, а зернистістю 100/80 (крива 1а) – на

п'ятій хвилині. Значення коефіцієнта тертя при притиранні силікатним складом з абразивом зернистістю 100/80 (крива 1а) становить  $f_{mp} = 0,19$ , з абразивом зернистістю 63/50 (крива 2а) –  $f_{mp} = 0,16$  та зернистістю 50/40 (крива 3а) –  $f_{mp} = 0,15$ . Стабілізація коефіцієнта тертя при притиранні вказує на завершення процесу формування поверхневого шару і закінчується на 4–5 хвилинах. При обробці пастою «КТ» це відбувається на 6–7 хвилинах.

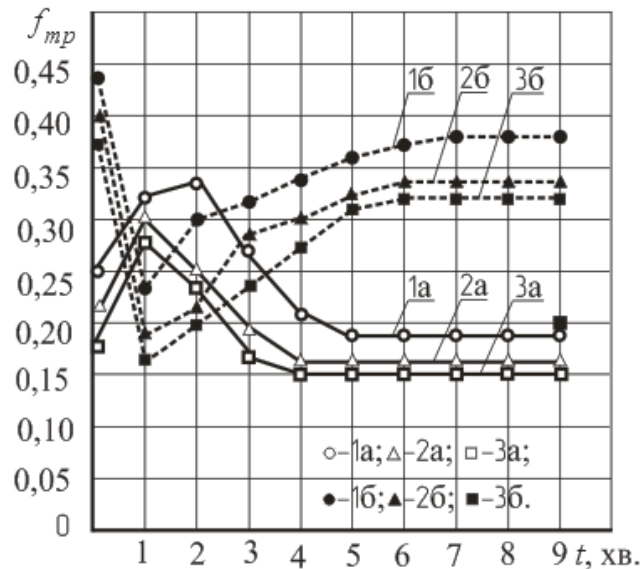


Рис. 1. Зміна коефіцієнта тертя ( $f_{mp}$ ) пари тертя сталь 40Х (НВ 220) – СЧ 18-36 (НВ 170) при притиранні силікатним складом (а) та пастою «КТ» (б) з абразивом зернистістю: 1 – 100/80; 2 – 63/50; 3 – 50/40

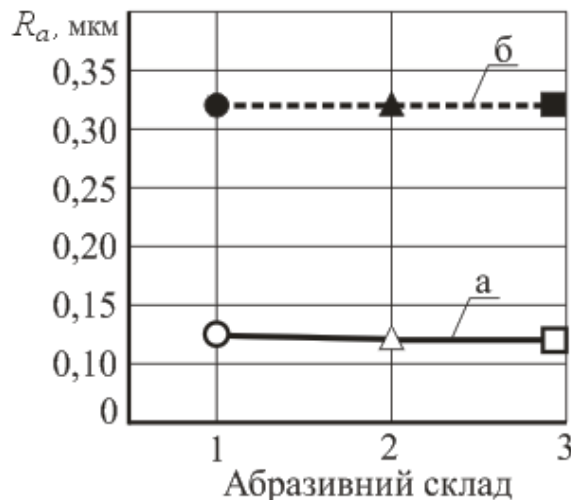


Рис. 2. Зміна шорсткості ( $R_a$ , мкм) поверхонь пари тертя сталь 40Х (НВ 220) – СЧ 18-36 (НВ 170) при притиранні силікатним складом (а) та пастою «КТ» (б) з абразивом зернистістю: 1 – 100/80; 2 – 63/50; 3 – 50/40

На підставі наведеного вище можна стверджувати, що зі збільшенням зернистості абразиву силікатного складу збільшується час формування поверхневого шару. Продуктивність притирання силікатним складом в 1,5 рази вище, ніж при обробці поверхонь пастою «КТ».

Аналізуючи криві зміни шорсткості  $R_a$  (див. рис. 2) можна відзначити, що після обробки поверхонь пастою «КТ» з абразивом зернистістю 100/80, 63/50 та 50/40 значення шорсткості  $R_a$  складає 0,32 мкм, що підтверджується із джерелом [2].

Після обробки поверхонь силікатним складом з абразивом зернистістю 63/50 та 50/40 значення шорсткості  $R_a$  складає 0,12 мкм, а з абразивом зернистістю 100/80 –  $R_a = 0,125$  мкм. Одержання високого класу чистоти поверхні при обробці силікатним складом, на нашу думку, відбувається за рахунок утворення аморфного кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ) [4]. Аморфний продукт, що утворився, має поліруючу дію високодисперсного, відносно м'якого абразиву [6]. Крім цього, аморфний кремнезем може діяти як абразив. Навіть за невеликої концентрації  $\text{SiO}_2$  на поверхні сталі його зчеплення з металом, за

рахунок сильної зміни властивостей окисного шару, посилюється [6]. Під дією абразивних частинок  $\text{SiO}_2$  потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею. При багаторазовому впливі частинок відбувається щільна «упаковка»  $\text{SiO}_2$  глибоких западин нерівностей, що дозволяє отримати високу якість поверхні [4].

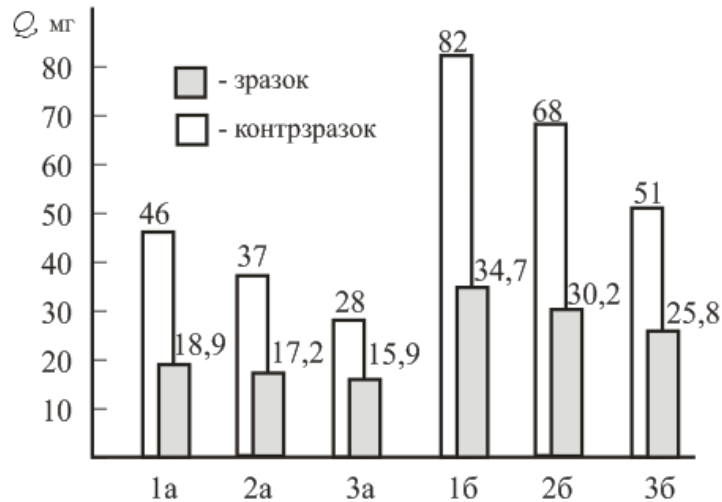


Рис. 3. Зміна знімання металу ( $Q$ , мг) пари тертя сталь 40X (HV 220) – СЧ 18-36 (HV 170) при притиранні силікатним складом (а) та пастою «КТ» (б) з абразивом зернистістю: 1 – 100/80; 2 – 63/50; 3 – 50/40

Для підтвердження цієї гіпотези із зразків, оброблених силікатним абразивним складом, було проведено змив і хімічний аналіз підтвердив наявність на обробленій поверхні  $\text{SiO}_2$ . У кількісному відношенні на поверхні зразка було виявлено  $82 \text{ мг/см}^2$   $\text{SiO}_2$  [4]. Результати рентгеноспектрального аналізу поверхонь обробки підтверджують наявність зв'язку кремнієвих сполук з поверхневим шаром металу (рис. 4) [4].

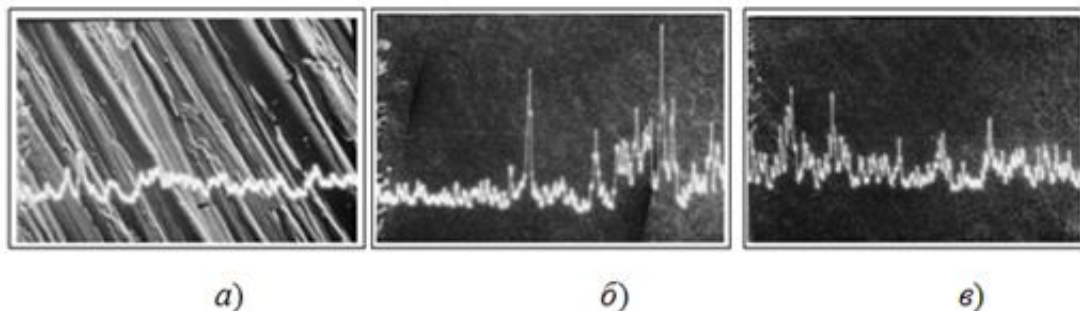


Рис. 4. Концентраційні криві розподілу кремнію по поверхні тертя ( $\times 200$ ): а) – вихідної; б) – після притирання силікатним складом; в) – після роботи на торцевій машині тертя в олії «I-20»

Сканограми ділянок поверхонь тертя (рис. 4), показують наявність кремнію, як до випробування, так і після. Зниження амплітуди піків розподілу після роботи спряжень свідчить про зменшення інтенсивності розподілу кремнію по поверхні, що пояснюється зносами в процесі роботи.

Крім того, відомо, що абразивні частинки також змінюють свою форму в процесі притирання. При змінному русі поверхонь щодо один одного, абразивні зерна то вриваються в поверхню, то виходять з неї, приймаючи щоразу нове положення. При цьому вони зношуються з усіх боків і одночасно огортаються  $\text{SiO}_2$ .

Для підтвердження цього припущення було проведено дослідження поверхні вихідного абразивного зерна та абразивних зерен після обробки силікатним та існуючим складами. Результати досліджень подано на рис. 5.

Отримана округлена форма абразиву не здатна в подальшому проводити різання-дряпання нерівностей. Як наслідок, зерна, перекочуючись по поверхні, її розкочують. Отже, збільшення числа зерен, що мають більш заокруглені вершини, підсилює поліруючу дію [7], що істотно впливає на якість обробленої поверхні.

Аналіз зміни знімання металу ( $Q$ ) пари тертя сталь 40X (HV 220) – СЧ 18-36 (HV 170) при притиранні силікатним складом (а) та пастою «КТ» (б) (див. рис. 3) показав, що при збільшенні зернистості абразиву паст знімання металу змінюється прямо пропорційно.

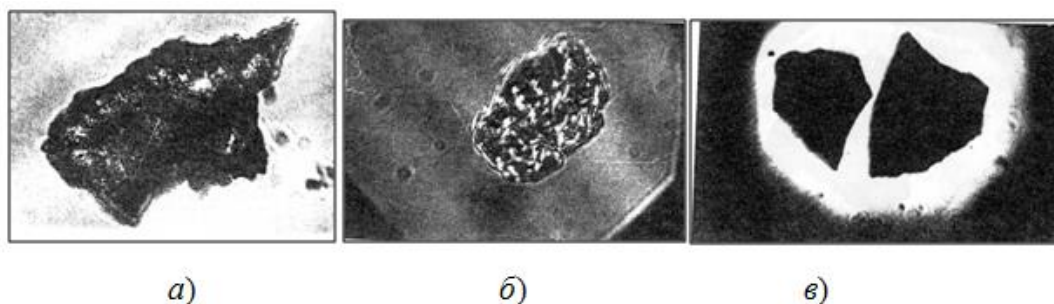


Рис. 5. Абразивні зерна ( $\times 350$ ): а) – вихідні; б) – які працювали у силікатному складі; в) – які працювали у складі «КТ»

Видно, що ріжучі кромки у частинок, що працювали в силікатному складі, мають округлу форму, порівняно з вихідними і тим які працювали у складі «КТ».

При дослідженні поверхні абразивних частинок було виявлено, що зерна, які працювали в силікатному складі, покриті тонкою оболонкою. Припустивши, що це і є висохлий гель аморфного кремнезему, частки промили дистильованою водою і лугом, оскільки відомо, що кремнієві сполуки інтенсивно взаємодіють з останнім. Тому при промиванні водою ця оболонка залишалася, при промиванні лугом видно явне видалення цієї оболонки (рис. 6) [4].

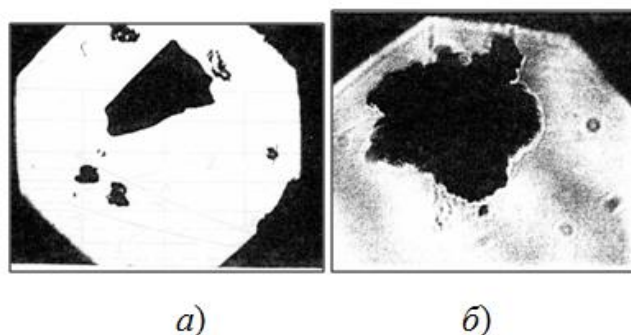


Рис. 6. Абразивні зерна, що працювали в силікатному складі після промивання ( $\times 350$ ): а) – лугом; б) – дистильованою водою

Можна відзначити, що при обробці поверхонь силікатним складом з абразивом електрокорунду знімання металу  $Q$  в 1,8 рази менше, ніж при обробці пастою «КТ». Відповідно джерела [2], припуск на обробку пастою «КТ» становить від 0,06 до 0,12 мм. Таким чином, припуск на обробку силікатною пастою пропонуємо призначати від 0,035 до 0,07 мм.

На підставі наведеного вище, можна стверджувати, що зі збільшенням зернистості абразиву силікатного складу знімання металу  $Q$  збільшується і це необхідно враховувати при призначенні припуску на обробку.

### Висновки

Отже, вдосконалення існуючої технології машинобудівного виробництва дозволяє змінювати властивості поверхневих шарів металу з метою підвищення зносостійкості поверхонь автомобільних деталей. В роботі наведено результати експериментального дослідження впливу зернистості абразиву силікатної пасти на якість поверхонь тертя.

Проведене дослідження підтверджує, що зі збільшенням зернистості абразиву силікатного складу збільшується час формування поверхневого шару та кількість металу, який знімається.

Доведено, що висока якість поверхні після обробки силікатним складом обумовлена появою в процесі притирання аморфного кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ), який посилює роботу абразивних зерен і призводить до зменшення дії абразиву, що дряпас. Під дією абразивних частинок  $\text{SiO}_2$  потрапляє у западини оброблюваної поверхні та зчіпляється з поверхнею.

Встановлено, що продуктивність притирання силікатним складом в 1,5 рази вища, ніж при обробці поверхонь пастою «КТ».

Виявлено, що при обробці поверхонь силікатним складом з абразивом електрокорунду знімання металу в 1,8 рази менше, ніж при обробці пастою «КТ».

Запропоновано призначати припуск на обробку силікатною пастою від 0,035 до 0,07 мм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Енциклопедія з машинобудування XXL*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mash-xxl.info/page/080250033043208137091014117191035000223215074247/>
- [2] *Абразивні пасту КТ*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ehk.ru/services/abrazivnye-i-ogneupornye-izdeliya/abrazivnye-pasty-kt/>
- [3] Ф. В. Новіков та В. Г. Шкурулій, *Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями*, моногр. Харків, Україна: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015, 388 с.
- [4] Н. С. Виноградов, «Исследование возможности использования силикатной пасты для притирки сопряженных деталей», *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник*, № 1, с. 70-74. 2006.
- [5] И. П. Головченко, Ю. А. Евдокимов, Е. Н. Зубков, Н. С. Виноградов, «Абразивная паста для притирки клапанов автомобильных двигателей» *А. с. 4685316 СССР, МКП<sup>3</sup> С09G 1/02. № 1691380, заявл. 25.04.89, опубл. 15.11.91, Бюл. № 42.*
- [6] Г. В. Виноградов и Н. С. Наметкин, «Противоизносные и антифрикционные свойства полиорганосилоксанов и их смесей с углеводородами», в *Новое о смазочных материалах*. М.: Химия, с. 153-175, 1967.
- [7] А. А. Маталин, *Технологические методы повышения долговечности деталей машин*. К.: Техніка, 1971, 144 с.

**Макаров Володимир Андрійович** – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [makarov@vntu.edu.ua](mailto:makarov@vntu.edu.ua)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Мастепан Микола Антонович** – канд. техн. наук, доцент, в.о. зав. кафедри автомобільного транспорту

**Виноградов Микола Семенович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: [m.s.vynogradov@donnaba.edu.ua](mailto:m.s.vynogradov@donnaba.edu.ua)

**Бляєв Дмитро Сергійович** – студент механічного факультету

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Краматорськ

**V. Makarov<sup>1</sup>**  
**M. Mastepan<sup>2</sup>**  
**M. Vynogradov<sup>2</sup>**  
**D. Bieliaiev<sup>2</sup>**

## Experimental investigation of the influence of grain abrasion of silicate paste on the quality of the friction surface

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

<sup>2</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

*Currently, many technological methods have been developed to change the structure and properties of surface layers of metal in the desired direction or to create layers with predefined properties. The use of these methods can increase wear resistance, resistance to fatigue and other performance properties of automotive parts. One such method is grinding with abrasive compounds. Grinding technology consists in applying abrasive compositions on the surface of the part and subsequent machining using special devices.*

*The results of experimental research of influence of granularity of abrasive of silicate paste on quality of friction surfaces are resulted in work. Silicate compositions with electrocorundum abrasive of different grain size were made for the study. In order to compare the performance of silicate paste, the existing abrasive pastes «КТ» with abrasive titanium carbide abrasive of similar grain size were selected. The research was performed on a special installation, which allows to reproduce with high accuracy the process of processing the abrasive composition in the laboratory. The evaluation was based on the duration of grinding, metal removal and surface quality. Stabilization of the coefficient of friction showed the completion of the grinding process.*

*The study confirms that with increasing grain size of the abrasive silicate composition increases the time of formation of the surface layer and the amount of metal that is removed. It is proved that the high quality of the surface after treatment with silicate composition is due to the appearance in the grinding process of amorphous silica (SiO<sub>2</sub>), which enhances the work of abrasive grains and reduces the action of the scratching abrasive. Under the action of abrasive particles, SiO<sub>2</sub> enters the depressions of the treated surface and adheres to the surface. It is established that the productivity of grinding with silicate composition is 1.5 times higher than when treating surfaces with «КТ» paste. It was found that when treating surfaces with a silicate composition with electrocorundum abrasive, the removal of metal is 1.8 times less than when treating with «КТ» paste. It is proposed to assign an allowance for treatment with silicate paste from 0.035 to 0.07 mm.*

**Keywords:** research result, abrasive, abrasive granularity, silicate paste, surface layer, metal, processing allowance.

**Makarov Volodymyr** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [makarov@vntu.edu.ua](mailto:makarov@vntu.edu.ua)

**Mastepan Mykola** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Acting head of the Department of Road Transport

**Vynogradov Mykola** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Road Transport, e-mail: [m.s.vynogradov@donnaba.edu.ua](mailto:m.s.vynogradov@donnaba.edu.ua)

**Bieliaiev Dmytro** – Student of the Faculty of Mechanical Engineering