

В. А. Макаров¹
Т. В. Макарова¹
М. С. Виноградов²
С. М. Мастепан³
Д. В. Савенок²
О. В. Левадний²

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИТИРАННЯ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ СИЛІКАТНОГО СКЛАДУ

¹Вінницький національний технічний університет

²Донбаська національна академія будівництва і архітектури

³Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Наведено результати експериментального дослідження, які пояснюють і підтверджують механізм притирання поверхонь тертя силікатним абразивним складом.

Показано, що стабільність силікатної пасту для притирання в часі може бути досягнута шляхом введення трихлористого заліза ($FeCl_3$), яке у цьому разі є загусником рідкого скла і, крім цього, має високі зігроскопічні властивості. Адгезійні властивості силікатної пасту покращуються завдяки введенню у склад мастила 1-13. Вибір цього мастила обумовлений розчинністю у воді. Для збільшення абразивної здатності силікатної пасту введено абразивний порошок.

Виявлено, що продуктивність притирання на силікатному складі і якість поверхонь вищі ніж при обробці пастою «КТ», яку застосовують для притирання клапанів автомобільних двигунів. На підставі результатів дослідження наведено механізм притирання поверхонь тертя силікатною пастою. У разі взаємного переміщення поверхонь відбувається різання-дряпання абразивними зернами найвищих вершин нерівностей. У разі додавання до складу абразивного матеріалу відбувається обволікання його частинок оксидом кремнію (SiO_2). Це пояснюється тим, що розчини рідкого скла мають високу силу зчеплення і невеликий поверхневий натяг. У точках зіткнення абразивних частинок відбувається підвищення температури, а оскільки навколо абразиву знаходиться SiO_2 , то за умови потраплення останнього в зону зіткнення відбувається утворення аморфного кремнезему (SiO_2). Оскільки абразивні зерна покриті плівкою оксиду кремнію, то під багаторазовою дією абразиву SiO_2 проникає в западини мікронерівностей і зчіплюється з поверхнею. У такий спосіб оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію, що призводить до підвищення її якості після притирання силікатним складом.

Доведено, що висока якість поверхні формується завдяки аморфному кремнезему. Для підтвердження цього механізму було проведено хімічний та рентгеноспектральний аналізи зразків, які показали наявність на обробленій поверхні SiO_2 та «сильного зв'язку» кремнієвих сполук із поверхневим шаром металу.

Встановлено, що отримання високої якості поверхні також обумовлено формою абразивних частинок та продуктів зносу. Підтверджено, що при змінному русі поверхонь стосовно один одного абразивні зерна набувають щоразу нового положення; за такої умови зношуються з усіх боків і набувають округлу форму, а також одночасно огортаються плівкою SiO_2 .

Ключові слова: силікатна паста, механізм притирання, результат дослідження, продуктивність притирання, абразивне зерно, аморфний кремнезем, якість поверхні.

Вступ

Останнім часом у кілька разів зросли вимоги до точності виготовлення деталей автомобільних двигунів. Точність розмірів та геометричних форм, а також якість робочих поверхонь деталей є найважливішими факторами, що зумовлюють надійну та довговічну роботу механізмів. Високі показники точності зазвичай досягаються внаслідок виконання механічної обробки.

Серед різних способів механічної обробки, що забезпечують виконання високих вимог до якості поверхневого шару і точності розмірів, важливе місце має абразивне притирання, що дає змогу отримати поверхню з низькою шорсткістю і необхідними властивостями.

Як відомо, притиральна операція виконується за допомогою паст, які наносяться на поверхню деталей для знімання припуску на обробку, зміни розмірів та її форми. За такої умови під хімічним і механічним впливом абразивних зерен відбувається зняття тонкого шару металу, що призводить до зменшення шорсткості поверхні [1]. У процесі взаємного абразивного притирання зерна, перебуваючи

між деталями, знімають з оброблюваних поверхонь тонку металеву стружку. Водночас хімічний вплив кислого середовища пасти поєднується з механічним впливом. Абразивні зерна перебувають у складі сполучної рідини між оброблюваними поверхнями деталей, вдавлюються в поверхню деталі, що вироблена з м'якшого матеріалу, і шаргуються у з'єднанні. Під впливом хімічних складових пасти утворюється плівка, яку видаляють абразивні зерна під час переміщення деталей. Одночасно ці зерна знімають найтонші стружки. Спочатку мікронерівності стикаються по малій контактній площі. Зрізаються окисні плівки з виступів мікронерівностей. Цей етап характеризується великими питомими тисками і пластичним деформуванням виступів мікронерівностей. Зі збільшенням контактної площі тиск зменшується, знижується товщина шару, що знімається. За такої умови знімаються тільки окисні плівки. Досить важливою у цьому випадку є в'язкість рідини. Товщина шару рідини між деталями має бути меншою за величину ріжучих зерен, що знаходяться у з'єднанні. Як сполучну рідину використовують машинну оливу, гас, стеарин, вазелін. Як абразив використовують порошки, мікропорошки електрокорунду, карбіду кремнію, карбіду бору, оксиду хрому, оксиду заліза тощо. До складу притиральних паст входять хімічно активні речовини: олеїнова або стеаринова кислота [2].

На сьогодні існує широкий асортимент різних складів притиральних паст. Вони відрізняються за своїми характеристиками, зернистістю, в'язкістю, типом, наявністю додаткових присадок і у такий спосіб впливають на механізм обробки. У роботі [1] авторами запропоновано склад силікатної пасти, який можна використовувати для підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів. На підставі цього стоїть завдання дослідити механізм притирання силікатною пастою.

Метою роботи є дослідження механізму притирання вільним абразивом при використанні силікатної пасти.

Результати дослідження

У роботі [1] авторами запропоновано склад абразивної пасти, основою якої є рідке натрієве скло. Рідке натрієве скло – водний лужний розчин силікатів $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, в яких аніонна частина представлена у вигляді полікремнієвих кислот різної полімерності. Під час підвищення концентрації силікатні розчини послідовно проходять стани малорухливих рідин, желеподібних мас і тендітного склоподібного тіла, зберігаючи при будь-якому вмісті води гомогенність (відповідно, зі збільшенням у системі води ці стани чергуються у зворотному порядку). Головна роль у силікатах належить хімічному зв'язку Si–O.

Властивості силікатних розчинів – їх висока в'язкість, що зростає експоненційно зі збільшенням концентрації, стійкість щодо кристалізації, утворення склоподібних плівок, прояв в'язучих властивостей – так чи інакше вказують на їхню полімерну будову. Прояв розчинами силікатів лужних металів в'язучих властивостей обумовлений їхньою полімерною природою, здатністю при висиханні (зневодненні) утворювати жорсткий полімерний каркас, що скріплює частинки речовин, що наповнюють систему. Внаслідок цих процесів формується міцний силікатний камінь.

Зважаючи на властивості рідкого натрієвого скла та попередні дослідження, виявлено, що стабільність силікатної пасти для притирання в часі може бути досягнута завдяки введенню трихлористого заліза (FeCl_3), яке у цьому разі є загусником рідкого скла і, крім цього, має високі гігроскопічні властивості. Адгезійні властивості покращувалися завдяки введенню у склад для притирання мастила 1-13. Вибір цього мастила обумовлений розчинністю у воді. Для збільшення абразивної здатності пасти притирання був введений абразивний порошок.

Дослідження проводили на спеціальній лабораторній установці для притирання деталей. Для цього були приготовлені силікатний склад з абразивом електрокорунду, відібрана паста «КТ», яка виготовлена на основі індустріальної оливи, зразки зі сталі 40X HRC 48 і контрзразки із чавуну СЧ 18-36 HRC 32. На початку дослідження шорсткість зразків і контрзразків становила $R_a = 1,25$ мкм.

Під час виконання дослідження контролювали час притирання і момент тертя. Незмінність моменту тертя вказувала на завершення процесу притирання. Після завершення досліду за допомогою мікроаналітичних терезів типу ВЛР-200 Г з точністю $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ г визначали масу металу, яка знімалася під час обробки.

За результатами всіх вимірювань (п'ятьох дослідів з похибкою $\pm 5\%$) для кожного зразка і контрзразка визначали середнє значення параметрів, що вимірювалися, і обчислювали масове знімання металу та коефіцієнт тертя.

За допомогою профілографа-профілометра контролювали профіль поверхонь, які оброблялися. Найкращу працездатність мав той склад після обробки, зразки якого мали найменшу шорсткість. Результати досліджень представлені на рисунках 1 та 2.

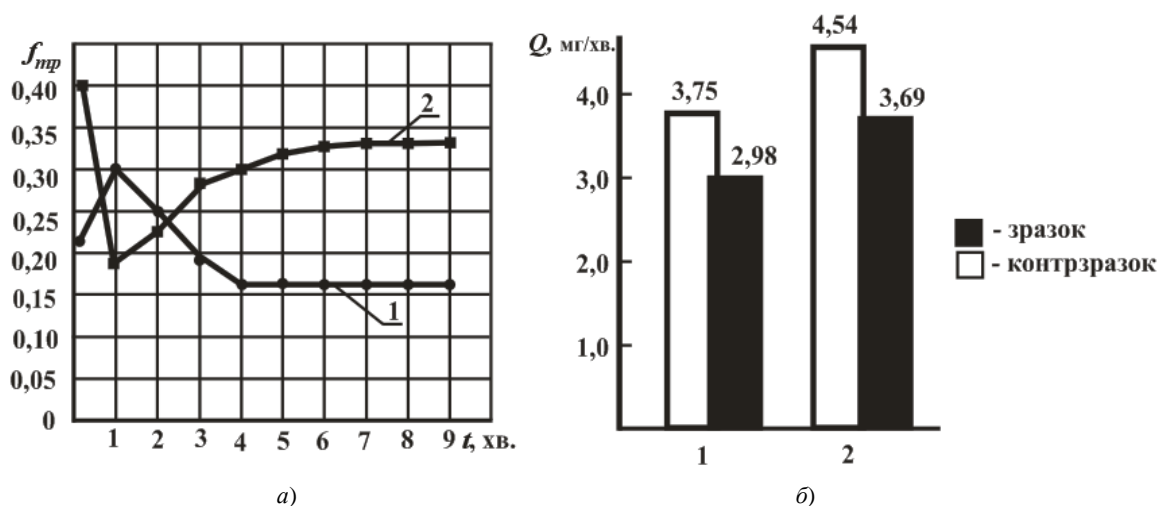


Рис. 1. Зміна коефіцієнта тертя ($f_{тр}$, а) та знімання металу (Q , мг/хв., б) при притиранні зразків (сталь 40Х) і контрзразків (чавун СЧ 18-36) абразивними пастами: 1 – силікатною; 2 – «КТ»

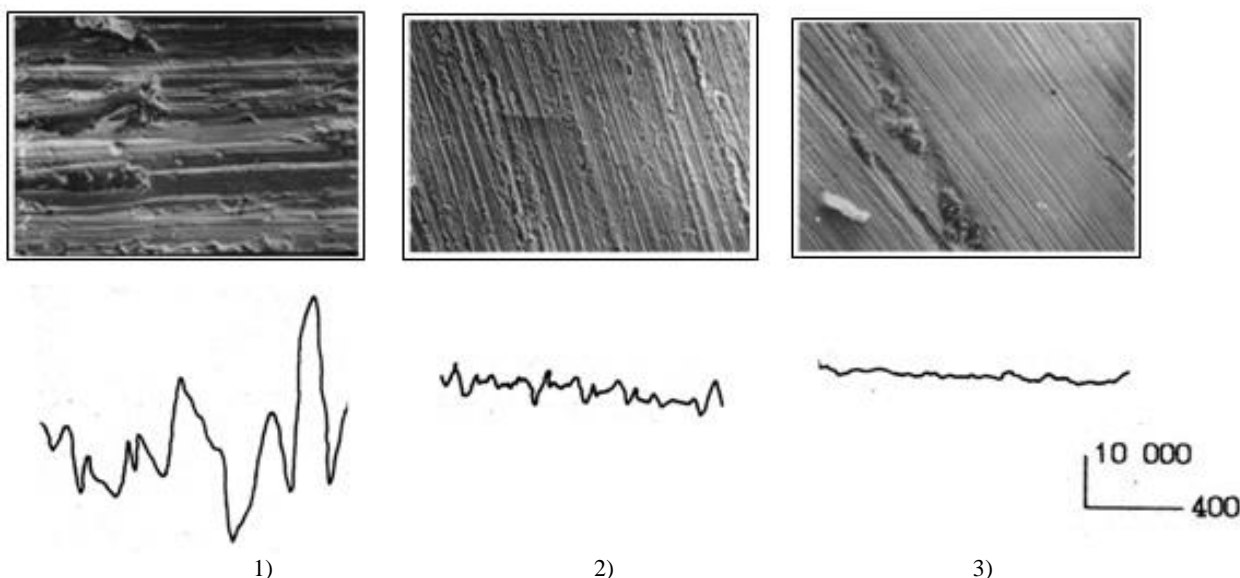


Рис. 2. Мікрорельєфи і профілограми поверхонь зразків після притирання абразивними складами (x 400): 1 – вихідна; 2 – пастою «КТ»; 3 – силікатною пастою

З рисунка 1а (крива 1) бачимо, що на першій хвилині притирання силікатною пастою коефіцієнт тертя збільшується. І це відбувається завдяки дії гострих ріжучих кромки абразивних зерен. Далі ріжуча здатність абразиву зменшується, зерна округлюються й обволікаються плівкою SiO_2 . На нашу думку, це впливає на коефіцієнт тертя, що і призводить до його зниження ($f = 0,17$).

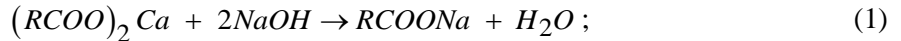
Аналізуючи криву 2 (рис. 1а), відзначаємо, що при притиранні пастою «КТ» на першій хвилині коефіцієнт тертя зменшується через наявність масляної плівки в зоні притирання. На другій хвилині вплив цієї плівки зменшується й абразивні зерна починають виконувати свою функцію. А це своєю чергою призводить до збільшення коефіцієнта тертя ($f = 0,33$).

З рисунка 1б бачимо, що при притиранні силікатною пастою знімання металу становить у зразка 2,98 мг/хв і у контрзразка 3,75 мг/хв. При обробці пастою «КТ» – у зразка 3,69 мг/хв і у контрзразка 4,54 мг/хв. Це відбувається, на нашу думку, завдяки сильнішій дії ріжучої здатності абразивних зерен пасти «КТ» і зміні форми та обволіканню плівкою SiO_2 абразиву силікатної пасти. Все це вплинуло на шорсткість поверхні після притирання. Після обробки силікатною пастою шорсткість поверхні становить $Ra = 0,12$ мкм, а пастою «КТ» – $Ra = 0,21$ мкм, що добре видно на мікрорельєфах та профілограмах поверхонь, які надано на рисунку 2.

Встановлено, що отримання низької шорсткості поверхні при притиранні силікатною пастою відбувається через уведення до складу рідкого скла, основним елементом якого, у нашому випадку, є

SiO₂. Механізм утворення SiO₂ відбувається завдяки хімічній реакції натрієвого рідкого скла, трихлористого заліза і води.

Після цих перетворень вводилося мастило 1-13, яке, як відомо, одержують загушенням оливи «І-20» натрієвим та невеликою кількістю кальцієвим милом жирних кислот. За такої умови мастило зазнає під дією раніше утвореного NaOH хімічних змін, які пов'язані з перегрупуванням нерозчинного кальцієвого мила жирних кислот, що входить до його складу, в розчинне натрієве мило. Процес взаємодії можна уявити так:



Схему механізму притирання силікатним абразивним складом представлено на рисунку 3.

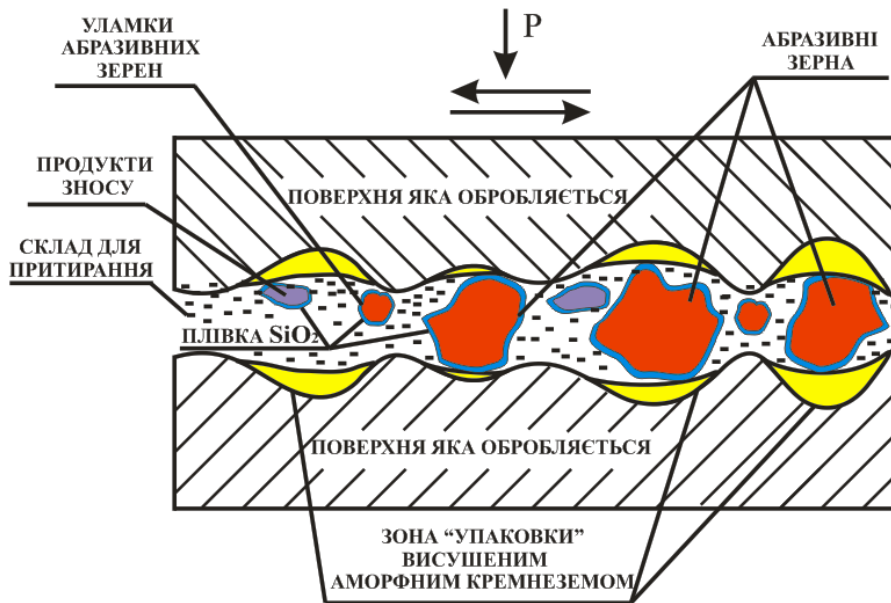


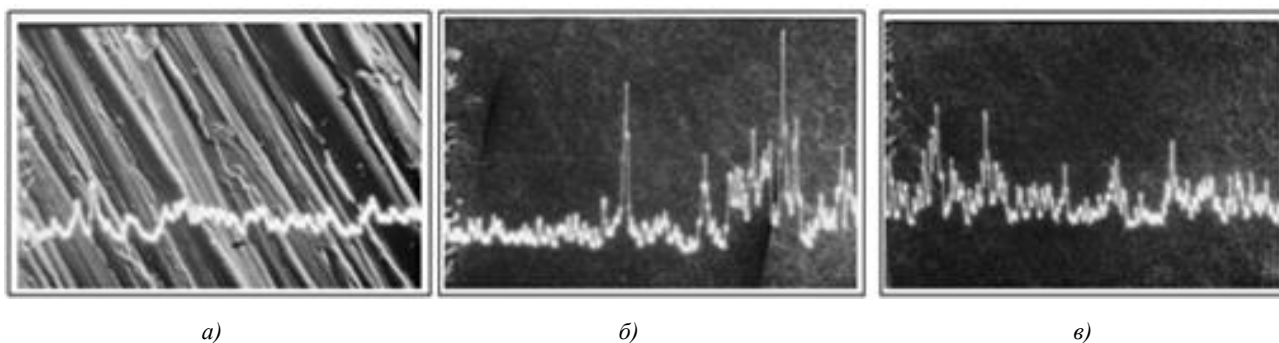
Рис. 3. Схема механізму притирання силікатним абразивним складом

Отже, робота механізму притирання силікатним складом відбувається в такий спосіб: при додаванні до складу абразивного матеріалу відбувається обволікання його оксидом кремнію SiO₂. Це пояснюється тим, що розчини рідкого скла мають високу силу зчеплення і невеликий поверхневий натяг. При взаємному переміщенні поверхонь відбувається різання–дряпання абразивними зернами найвищих вершин нерівностей. У точках зіткнення абразивних частинок відбувається підвищення температури, а оскільки навколо абразиву знаходиться SiO₂, то при потраплянні останнього в зону зіткнення відбувається утворення аморфного кремнезему (SiO₂) [3] (рис. 3).

Аналіз показує, що аморфний кремнезем, що утворився, має поліруючу дію високодисперсного, відносно м'якого абразиву [4]. Оскільки абразивні зерна покриті плівкою оксиду кремнію, то під багаторазовою дією абразиву SiO₂ проникає в западини мікронерівностей і зчіплюється з поверхнею. Саме так оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію, що сприяє підвищенню її якості після притирання силікатним складом.

Для підтвердження гіпотези про наявність «сильного зв'язку» кремнієвих сполук із поверхневим шаром металу було проведено дослідження на торцевій машині тертя. Наявність «сильного зв'язку» має утримати кремнієві з'єднання на поверхні тертя під час опрацювання в умовах експлуатації. В іншому випадку вони будуть вилучені в початковий період своєї роботи. Результати рентгеноспектрального аналізу показали наявність кремнію на поверхні тертя як до випробування, так і після (рис. 4) [4].

Зниження амплітуди піків сканограми після роботи сполучення свідчить про зменшення інтенсивності розподілу кремнію по поверхні, що пояснюється зносом у процесі роботи [4].



а)

б)

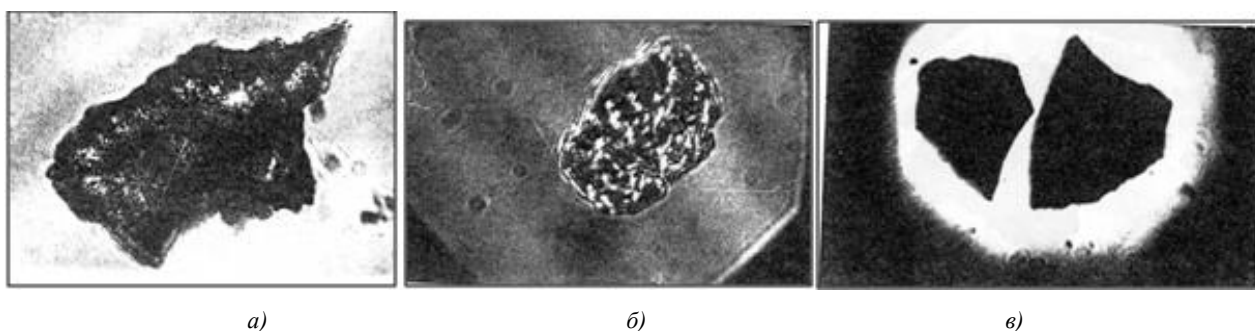
в)

Рис. 4. Концентраційні криві розподілу кремнію (x200)[4]:

а) по поверхні тертя на початку дослідження; б) по поверхні тертя після обробки силікатною пастою; в) по поверхні тертя після роботи зразків на торцевій машині тертя в оливі «І-20»

Отримання високої якості поверхні також обумовлено формою абразивних частинок та продуктів зносу. При взаємному переміщенні поверхонь абразивні зерна, перекочуючись, зношуються і набувають округлої форми. Водночас вони обволікаються плівкою оксиду кремнію і зменшують ріжучу здатність абразиву. Дослідження поверхні вихідних абразивних зерен та абразивних зерен після обробки силікатним складом і пастою «КТ» показали, що ріжучі кромки у частинок, що працюють у силікатній пасті, мають округлену форму, порівняно з вихідними та працюючими в пасті «КТ» [4]. Отже, при збільшенні кількості абразивних зерен, які мають округлені вершини, відбувається посилення поліруючої дії та збільшення ступеня наклепу поверхневого шару металу, що істотно впливає на якість обробленої поверхні.

На рисунку 5 наведено форму абразивних зерен до початку притирання (а); зерна, які на які здійснено притирання силікатною пастою (б) та пастою «КТ» (в).



а)

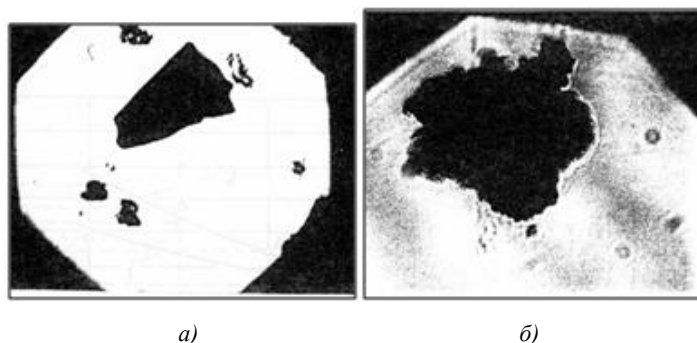
б)

в)

Рис. 5. Форма абразивних зерен (x350): а) на початку притирання; б) після притирання силікатною пастою; в) після притирання пастою «КТ»

З рисунка 5б бачимо, що абразивне зерно, яке було задіяне у силікатному складі при обробці поверхні, має округлену форму і покриті плівкою SiO_2 . Для підтвердження цього брали два абразивних зерна, які перебували у зоні притирання силікатним складом, і одне промивали лугом, оскільки відомо, що кремнієві сполуки взаємодіють із ним, а інше – дистильованою водою. Результати представлені на рисунку 6.

З рисунка 6 бачимо, що після промивання абразивного зерна дистильованою водою плівка залишається на її поверхні, а після промивання лугом вона відсутня [4]. Це підтверджує раніше висловлене припущення.



а)

б)

Рис. 6. Абразивні зерна після притирання силікатною пастою (x350): а) промиті лугом; б) промиті дистильованою водою

Висновки

1. Встановлено, що основним компонентом абразивного складу є рідке скло, яке впливає на мікрогеометрію поверхні притертя.
2. Доведено, що висока якість поверхні формується завдяки аморфному кремнезему (SiO_2), який утворюється внаслідок локальних спалахів температури та хімічної реакції при взаємодії трихлористого заліза та силікату натрію.
3. Показано, що низький коефіцієнт тертя під час обробки силікатним складом обумовлений утворенням аморфного кремнезему.
4. Рентгеноструктурним та хімічним аналізом підтверджено наявність аморфного кремнезему на обробленій поверхні, поверхні абразивних частинок та продуктах зношування після притирання силікатним складом.
5. Доведено, що ріжуча здатність абразивних зерен у силікатному складі знижується завдяки обволіканню їх оксидом кремнію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Експериментальне дослідження можливості використання силікатної пасти для підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів / В. А. Макаров та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 1(17). С. 92–98
- [2] Притирання ущільнюючих поверхонь. [Електронний ресурс]. URL: http://ni.biz.ua/7/7_14/7_144327_pritirka-uplotnitelnih-poverhnostev.html
- [3] Виноградов Н. С. Исследование возможности использования силикатной пасты для притирки сопряженных деталей. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник*. 2006. № 1. С. 70–74.
- [4] Експериментальне дослідження впливу зернистості абразиву силікатної пасти на якість поверхонь тертя / Макаров В. А. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. №1(15). С. 100–105.

Макаров Володимир Андрійович – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: makarov@vntu.edu.ua;

Макарова Тамара Володимирівна – канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: makarova@vntu.edu.ua

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

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

Савенок Дмитро Валерійович – канд. техн. наук, в. о. декана механічного факультету

Левадний Олександр Володимирович – магістрант механічного факультету

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ

Мастепан Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. Говоруценка М. Я., e-mail: mastepansm@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

V. Makarov¹
T. Makarova¹
M. Vynogradov²
S. Mastepan³
D. Savenok²
O. Levadnyi²

Improvement of the mechanism of lapping with a free abrasive by using a silicate composition

¹Vinnitsia National Technical University

²Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

³Kharkiv National Automobile and Highway University

The results of an experimental study are presented that explain and confirm the mechanism of lapping friction surfaces with a silicate abrasive composition.

It is shown that the stability of the silicate lapping paste over time can be achieved by introducing ferric trichloride ($FeCl_3$), which in this case is a thickener of liquid glass and also has high hygroscopic properties. The adhesive properties of the silicate paste are improved by the addition of lubricant 1-13. This grease was chosen due to its water solubility. To increase the abrasive ability of the silicate paste, an abrasive powder was introduced.

It was found that the lapping performance of the silicate composition and the quality of surfaces are higher than when treated with the «KT» paste, which is currently used for lapping automobile engine valves. Based on the results of the study, the mechanism of lapping friction surfaces with a silicate paste is presented. The mutual movement of the surfaces results in cutting and scratching of the highest peaks of the bumps by the abrasive grains. When silicon oxide (SiO_2) is added to the abrasive material, its particles are coated with silicon oxide. This is because liquid glass solutions have a high adhesive force and low surface tension. At the points of contact between the abrasive particles, the temperature rises, and since there is SiO_2 around the abrasive, when the latter enters the contact zone, amorphous silica (SiO_2) is formed. Since the abrasive grains are coated with a silicon oxide film, SiO_2 penetrates into the cavities of micro-irregularities and adheres to the surface under repeated exposure to the abrasive. Thus, the surface to be treated is saturated with silicon oxide, which leads to an increase in its quality after grinding with a silicate composition.

It has been proven that high surface quality is formed by amorphous silica. To confirm this mechanism, chemical and X-ray spectral analyses of the samples were performed, which showed the presence of SiO_2 on the treated surface and a "strong bond" of silicon compounds with the metal surface layer.

It was found that the high quality of the surface is also due to the shape of abrasive particles and wear products. It has been confirmed that with the variable movement of surfaces relative to each other, abrasive grains take on a new position each time. At the same time, they are worn from all sides and acquire a rounded shape, and are simultaneously enveloped by a SiO_2 foil.

Key words: silicate paste, lapping mechanism, research result, lapping performance, abrasive grain, amorphous silica, surface quality.

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

Makarova Tamara – Ph.D. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: makarova@vntu.edu.ua

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

Mastepan Sergey – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate professor of the department of technical operation and service of cars named after Govorushchenko M., e-mail: mastepansm@gmail.com

Savenok Dmytro – Ph. D. (Eng.), Acting head Dean of the Mechanical Faculty

Levadnyi Oleksandr – Master's student of the Mechanical Faculty