

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ЕПІЛАМУВАННЯ**

І.В. Дощечкіа, І.В. Шибіка

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*divkhadi@ukr.net*

*skifus07@ukr.net*

На основі теоретичних та експериментальних досліджень в галузях фізики твердого тіла та фізичного матеріалознавства доведено, що поверхневий шар у твердого тіла, який підлягає дії зовнішніх факторів, є «самостійною функціональною підсистемою і радикально впливає на масштабні рівні локалізації пластичної течії та руйнування матеріалу в цілому.

Як відомо, вимоги до підвищення експлуатаційних властивостей та довговічності виробів можна задовольнити як розробкою сучасних конструкційних рішень і застосуванням нових високоміцних матеріалів, але і шляхом змін стану поверхневого шару. На сьогодні розроблені численні способів модифікування поверхні: хімічне або електролітичне осадження необхідних елементів, різні види наплавлення та напилення, хіміко-термічна, термомеханічна, ультразвукова, лазерна, іонно-плазмова обробки та ін. Однак усі ці способи мають суттєві загальні недоліки, а саме їх висока трудомісткість і собівартість, необхідність використання складного і дорогого устаткування, значні енерговитрати. При цьому ні один з них не є універсальним для різних умов експлуатації виробів (характер навантаження і діючих напружень, зношування, корозійне середовище тощо). Головною метою усіх способів впливу на поверхневий шар є збільшення довговічності деталей різних вузлів та конструкцій, але при цьому витрати повинні бути виправдані ефективністю їх застосування, що забезпечується отриманням необхідного комплексу експлуатаційних властивостей.

В даний час захистити поверхневий шар виробів, надати йому нові властивості можна за допомогою високих технологій інженерії поверхні, зокрема нанотехнологій, до яких відноситься епіламування (ЕП). Технологія епіламування з усіх відомих технологій нанесення покриттів і методів підвищення довговічності виробів є найбільш універсальною, може бути застосовна до деталей з різних матеріалів і будь-якої форми. На думку дослідників [1-3] ЕП є доступним та ефективним рішенням фізико-хімічного впливу на поверхню, який не тільки забезпечує захисний ефект, але й наділяє виріб широкою гаммою корисних експлуатаційних характеристик, які у комплексі не спроможні забезпечити інші методи поверхневого впливу. У зв'язку з цим розвиток сучасних економічних методів поверхневого модифікування з метою підвищення конструкційної міцності деталей машин є актуальним питанням матеріалознавства.

Метою даної роботи є вивчення стану поверхні після ЕП та його впливу на деформаційну поведінку і властивості виробів під різними видами навантаження.

Дослідження проведено на сталі 09Г2С, яка має дуже широкий спектр застосування, в тому числі і у автотранспортному машинобудуванні.

Поверхню сталевих зразків в стані постачання покривали щільною нанорозмірною (30 нм) плівкою ЕП, шляхом їх занурення на 10 хвилин у ванну з епіламом – фторвмісною речовиною марки СФК–05 при температурі 50 – 55°С.

Досліджували структуру сталей, шорсткість і профіль поверхні, вимірювали механічні характеристики при випробуванні на розтягання та циклічну довговічність, визначали зносостійкість до та після ЕП. Результати випробувань обробляли методами математичної статистики.

### Результати експериментальних досліджень

Дані випробувань на розтягання сталі 9Г2С наведені в табл. 1.

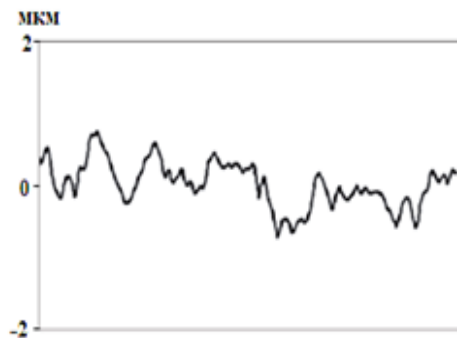
Таблиця 1. Механічні характеристики сталі 9Г2С у різному стані

Стан	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$S_k$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Без ЕП у стані постачання	420	295	495	21	62
Після ЕП	425	292	530	44	78

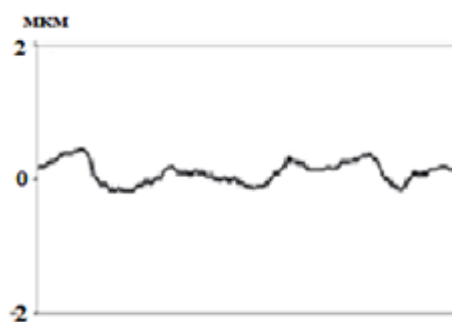
З даних таблиці випливає, що поверхнева обробка ЕП призводить до значного (у 2 рази) підвищення пластичності, значення  $\sigma_{0,2}$  і  $\sigma_B$  практично не змінюються, однак у зв'язку з надзвичайно високою пластифікацією істинна межа руйнування  $S_k$  виявляється вищою. Це дозволяє зробити висновок, що справжня міцність зразка із епіламованою поверхнею, незважаючи на таке значне збільшення пластичності, вища, ніж у вихідному стані, але при цьому вони руйнуються в'язко. Важливо підкреслити, що виявлена зміна властивостей пов'язана не зі зміною хімічного складу і структури матеріалу, а з поведінкою зразків під час деформації.

Під час обговорення отриманих результатів слід зупинитися на двох основних питаннях – різкій пластифікації зразків після поверхневого ЕП та одночасному з цим підвищенні показника  $S_k$ .

Як відомо, шорсткість поверхні є однією із основних геометричних характеристик якості поверхні виробів, яка, у свою чергу, впливає на його експлуатаційні показники в цілому [4]. Здатність до деформування при розтяганні зразків з певного матеріалу значною мірою залежить від шорсткості його поверхні. Як свідчать наші дослідження, остання помітно змінюється після ЕП (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Профіль поверхні зразка у вихідному стані (а) та після ЕП (б)

При використанні ЕП рельєф поверхні значно поліпшується і фізична природа такої зміни можна пояснити наступним чином. Епілами – це поверхнево-активні речовини, що містять фтор (фторПАР), особливістю яких є дуже низький поверхневий натяг. Завдяки цьому відбувається затікання рідкого епіламу в найдрібніші нерівності поверхні (заглиблення, пори, гострі та глибокі субмікроскопічні тріщини, пори) та дегазує і виключає, таким чином, окрихчування матеріалу. Після випаровування легколеткого розчинника (хладону) на поверхні дефектів формується плівка з так званою структурою Ленгмюра-Блоджет, що являє собою шар молекул фторПАВ, які перпендикулярно орієнтовані до поверхні дефектів і щільно пов'язані з металом силами хемосорбції. У результаті відбувається майже повне усунення усіх поверхневих дефектів – потенційних концентраторів локальних напружень. Таким чином, пластифікація зразків при розтяганні пояснюється «залікуванням» поверхневих дефектів, яке подовжує стадію пружно-пластичної деформації та збільшує опір утворенню шийки у зразка при розтяганні.

Завдяки надзвичайно високій пластичності дійсний опір руйнуванню  $S_k$  зразків виявляється підвищеним і дійсна міцність зразків вища у порівнянні з вихідним станом без ЕП поверхні.

Суттєве покращення якості поверхні, як відомо, повинно позначитися на довговічності виробу. Випробуванню на опір втомленості підлягали

поліровані циліндричні зразки діаметром 7,5 мм. Оцінка впливу ЕП проводилася по зміні числа циклів до руйнування. Результати наведені в табл. 2 свідчать, що у зразків з покриттям ЕП навіть при збільшенні напруження на 50 МПа циклічна довговічність підвищилася більш ніж в 3 рази.

Таблиця 2. Вплив ЕП на циклічну довговічність

Стан зразків	Напруження, МПа	Кількість циклів до руйнування
До ЕП	380	82000
Після ЕП	430	256000

Виходячи з даних багатьох літературних джерел та власного досвіду стосовно ефективності ЕП для пар тертя та деталей тертя, а також із потреб практики, коли, як вдомо, понад 80% відмов обумовлені зношуванням, був досліджений вплив ЕП на зносостійкість виробів. Випробування спеціально виготовлених зразків проводили за схемою «метал по металу із прошарком абразиву» під значним контактним навантаженням і в агресивному середовищі (суміші із кварцового піску та 12% глини, що була зволожена агресивною рідиною – розбавленою сірчаною кислотою). Знос визначався за втратою ваги із точністю до 0,01 мг. Результати зносостійких випробувань приведені на рис. 2.

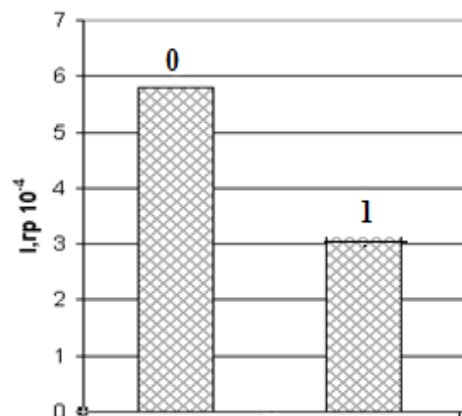


Рис. 2. Знос зразків у вихідному стані (0) та після ЕП (1)

Як видно з рисунку, втрата ваги зразка із нанесеною на поверхню плівкою ЕП зменшилася майже в 3 рази порівняно із зразком у вихідному стані за однакових умов випробувань.

За даними наших досліджень, можливості формування унікального комплексу властивостей сприяють поширенню застосування

багатофункціонального покриття ЕП для виробів із конструкційних сталей, що експлуатуються в складних умовах в різних галузях народного господарства. При цьому треба зазначити, що ЕП не змінює структуру твердої поверхні, надаючи їй широкий спектр необхідних властивостей, і практично незмінними залишаються геометричні розміри оброблених виробів (деталей). Цей технологічно дуже простий, недорогий спосіб модифікування поверхні певною мірою забезпечує реалізацію головного принципу – «краща якість за найменшою вартістю».

### Література

1. В'юник О.В., Дідур В.В., Серий І.С. Результати експериментальних досліджень впливу епіламних покриттів на знос деталей шестеренного насоса. Науковий вісник ТДАТУ, 2020. Вип. 10. Том 2. С. 178-191.
2. Дощечкіна І. В., Татаркіна І.С. Епіламування поверхні як спосіб пластифікації холоднокатаних низьковуглецевих сталей. Вісник ХНАДУ, 2020. Вип. 88(1). С. 17-22.
3. Біляєва А.С., Журавель Д. П., Болтянський Б.В. Епіламування – ефективний захист трубопроводів від корозії. III Міжнародна науково-практична конференція «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». ТДАТУ, 2021. С. 46-48.
4. Шорнікова С. В. Шорсткість поверхні як одна із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей. Методи та засоби контролю. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Таврійський науковий вісник. № 5, 2022. С.13-20.