

УДК 621.113.004: 621.86

Підвищення довговічності високонавантажених деталей і вузлів дорожньо-будівельної техніки та транспортних засобів

Н. І. Посвятенко¹, В. Г. Гончаров²

1–Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

2–Приватна науково-дослідна господарсько-комерційна фірма «ТАВІ», м. Харків, Україна

***Анотація.** На основі інформаційних джерел зроблена класифікація методів інженерії поверхні. Наведений аналіз і порівняльна характеристика традиційних технологій зміцнення і підвищення зносостійкості та ресурсу високонавантажених деталей і вузлів виробів машинобудівної галузі і транспортних засобів. Показані їх недоліки, які стосуються виробів, що працюють з великими навантаженнями та в несприятливих умовах експлуатації. Запропонована комбінована технологія, яка ґрунтується на принципах дискретного зміцнення поверхні деталей. Наведена суть технології, її переваги і теоретичні обґрунтування процесів, що відбуваються в поверхневих шарах деталей та впливають на трибологічні і зношувальні характеристики. Доведена доцільність використання даної технології шляхом численних експлуатаційні випробувань, які довели конкурентоспроможність запропонованої технології.*

***Ключові слова:** транспортні засоби; інженерія поверхні; вузли тертя; високонавантаженні деталі*

Сучасні машини та споруди працюють в умовах інтенсивних механічних навантажень. Основні елементи машин здійснюють взаємний рух з тертям під дією значних сил. Як приклади – гідروпередачі для автомобільних трансмісій, колінчасті вали та поршні двигунів, вали верстатів, осі автомобілів, підшипники, ротори турбін. Спільними рисами цих елементів машин є дві: вони є основними елементами машин, вихід із ладу яких може призвести до аварії; міцність і надійність роботи цих елементів на 80–90 % визначається не «об'ємною» міцністю, а «поверхневою». Це значить, що великий контактний тиск і тертя призводять до втрати міцності поверхневих шарів та їх зношуванню, що спричиняє втрату довговічності як окремих вузлів, так і всієї конструкції машини. Ця проблема стосується не тільки для транспортної галузі, тому має велике значення.

Першим етапом наших досліджень була систематизація методів інженерії поверхні деталей машин, що знайшла відображення у багатьох наукових працях [1–5]. Було показано, що весь спектр методів інженерії поверхні впливає на експлуатаційні властивості деталей (зносостійкість, втомнісну міцність, опір адгезійним явищам, задиростійкість, триботехнічні характеристики тощо) через комплекс фізико-механічних характеристик (мікротвердість, залишкові напруження, мікроструктуру, текстуру, мікро- і макропрофіль поверхні, товщину зміцненого шару та міцність його утримання на основі). Методи інженерії поверхні були класифіковані на 4 групи: нанесення покриттів, модифікування поверхневого шару, технологічні і комбіновані методи, а також вивчені їх можливості щодо практичної реалізації. Проведений аналіз дає змогу зробити наступні висновки. На сьогодні одним з найбільш ефективних способів підвищення зносостійкості деталей є їх поверхневе зміцнення. Поверхневе зміцнення деталей – це окрема область технологій, що інтенсивно розвивається. В даний час існує понад 150 способів поверхневого зміцнення. Поряд з традиційними способами хіміко-термічної і термічної обробки, використання електродіодних покриттів, різних видів наплавки, розвиваються нові технології зміцнення із застосуванням джерел з високою концентрацією енергії – іонно-плазмова обробка, лазерне зміцнення, детонаційне зміцнення та ін.

Зазвичай для деталей, працюючих в умовах тертя і зношування, особливо для важконавантажених, використовують комплексну термічну обробку – спочатку виконують об'ємне зміцнення, яке забезпечує властивості серцевини виробу, потім – поверхневе для досягнення високої зносостійкості. Матеріал таких деталей у серцевині повинен мати високу міцність, у тому числі втомну, тріщиностійкість (в'язкість руйнування), певний запас

пластичності. Зміцнення шийок здійснюють або азотуванням, або поверхневим гартуванням з використанням СВЧ. Обидва методи не є оптимальними. Азотування є дуже тривалим процесом (понад 70 годин) і призводить до суттєвого знеміцнення серцевини і, як наслідок, до великої залишкової деформації вала, що потребує правки, яка не завжди є ефективною. Поверхнєве гартування знижує опір втомі, що неприпустимо при багатocyкловому навантаженні.

Для підвищення зносостійкості поверхонь тертя також використовують нанесення різного роду покриттів. Цей спосіб частіше за все застосовують при ремонті. Але нанесення покриттів потребує збільшених припусків під механічну обробку для усунення деформації деталі. До того ж не завжди забезпечується якісне зчеплення покриття з основою (деталлю), а серцевина виробу може перегрітися, що викличе її знеміцнення. При цьому через різні теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення основного матеріалу і покриття градієнт температур по перерізу виробу може спричинити виникнення тріщин і руйнування покриття. Також створюються технологічні концентратори напружень, що знижує опір втомі. Внаслідок всього сказаного ресурс деталей і вузлів високонавантажених виробів в реальних умовах експлуатації виявляється істотно нижчим нормативного.

Отже, бачимо, що різноманітні традиційні способи поверхневого зміцнення: азотування; цементация; наплавка міцного матеріалу; нанесення покриття – мають суттєві недоліки. *По-перше*, традиційні способи забезпечують підвищення міцності при зменшенні зносостійкості, або навпаки. *По-друге*, виникають проблеми при зчепленні поверхневих шарів з основним матеріалом. *По-третє*, різні фізико-механічні характеристики основного матеріалу і покриття призводять до появи тріщин і руйнування під дією температур та сил. *По-четверте*, сам процес нанесення покриттів може призводити до зменшення міцності основного матеріалу. Крім того, можуть виникати значні залишкові напруження та деформації. І, нарешті, більшість традиційних процесів є енергозатратними та екологічно шкідливими.

Проведений аналіз стану проблеми показав, що вона є дуже важливою, актуальною і становить значний науковий та практичний інтерес. З вищезазначеного виходить, що традиційні способи підвищення зносостійкості матеріалу деталей лише за рахунок збільшення їх твердості у багатьох випадках виявляються неефективними. Це пояснює той факт, що ресурс машини до капітального ремонту, у тому числі і з використанням розглянутих способів зміцнення, у реальних умовах експлуатації виявляється істотно нижчим нормативного. Проблему підвищення ресурсу, надійності і зносостійкості високонавантажених деталей можна вирішити скориставшись принципами синергетики, тобто вирішувати проблему не тільки за рахунок підвищення твердості поверхні виробу, а і за рахунок інженерії його поверхні, що дає можливість збільшити ресурс машин у 1,5-2 рази. Більше того, бажано мати таку технологію, яка була би придатна і для виготовлення деталі, і для її ремонту. Така технологія пов'язана не є континуальним, а з дискретним зміцненням поверхні, яка буде вільна від недоліків традиційних технологій.

Запропонована технологія є комплексною і стосується ідей дискретності, електроіскрового легування та зміцнення, при чому не піддається впливу основний матеріал деталі, а тільки локально поверхневі шари. Крім того, це стосується і результуючого ефекту: підвищується і міцність, і зносостійкість. При цьому технологія не енергоємна (потребує у 6–8 разів менше енергії), практично екологічно нешкідлива і низько вартісна (зменшення витрат на 70%) [6, 7].

Спосіб ЕІЛ є дискретним за своєю сутністю і природою, і це є його перевагою, оскільки:

- одиничний електроіскровий розряд дозволяє забезпечити стабільність фізико-механічних властивостей окремої ділянки (плями);
- зміцнення за один прохід різко підвищує продуктивність процесу (частина поверхні залишається непокритою);

- зміна величини струму розряду I_p дозволяє регулювати висоту і площу одиничної ділянки, а також глибину проникнення в основу (макролегування);
- керуючи частотою імпульсу або швидкістю відносного переміщення анода і катода, можна варіювати кількість дискретних ділянок на робочій поверхні деталі.

Формування зносостійких поверхонь виконується наступним чином. На зовнішню поверхню виробу електроіскровим методом наноситься дискретне покриття з легувальних матеріалів у вигляді розташованих на певній відстані один від одного острівців або ліній довільної конфігурації (рис. 1).

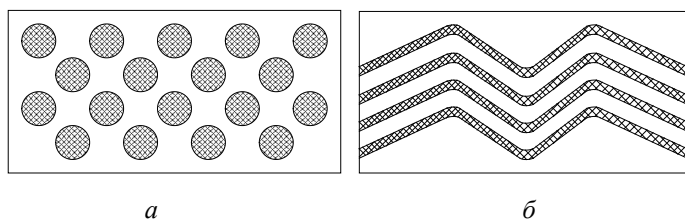


Рис. 1. Різновиди дискретних покриттів (схема): а – острівцеві; б – стрічкові

Це призводить до зміни хімічного складу і фізико-механічних властивостей матеріалу основи в плямі контакту з електродом. Поверхня природної зони має розвинену форму у вигляді гострих виступів і западин. Потім поверхню піддають шліфуванню (рис.2), внаслідок якого зменшується шорсткість поверхні, видаляються макро- і мікро дефекти у зоні

дискретного розряду, що унеможливує появу концентраторів напружень.

У випадку зрізу зовнішнього шару виробу на величину, дещо меншу за максимальну глибини каверн, на поверхні при експлуатації залишаються порожнини, які є ємкостями для мастила, за рахунок чого зменшується коефіцієнт тертя в момент запуску та зупинки машини (рис. 3).

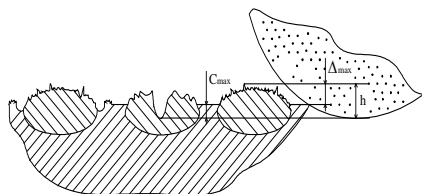


Рис. 2. Формування поверхні при шліфуванні

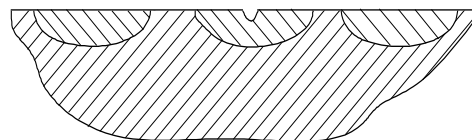


Рис. 3. Поверхня після шліфування

У ході комплексу досліджень визначався характер напружено-деформованого стану в області окремої дискретної зони зміцнення (локально) та у глобальному масштабі (у всій конструкції). Аналіз та узагальнення одержаних результатів дало змогу встановити два типи ефектів впливу на напружено-деформований стан, що виникають при здійсненні дискретно-континуального зміцнення: « Δ -ефект» та « σ -ефект».

Перший полягає в тому, що легована область дискретного зміцнення при дії нормального тиску у деформованому стані дещо виступає над незміцненою областю (на величину Δ). Таким чином, ця підійнята частина поверхні перебирає на себе більшу частину контактного тиску у спряженні з іншою деталлю. Завдяки вищій якості поверхні дискретної зони зменшується сила тертя при відносному русі контактуючих деталей. Крім того, матеріал матриці зношується в першу чергу, чим створюються поверхневі лабіринти для змащування. Найбільший « Δ -ефект» досягається при відносній площі зміцнення 60-80 %.

Другий - « σ -ефект» - проявляється у характерному розподілі напружень в зоні дискретного зміцнення. Оскільки внаслідок термохімічних процесів відбувається змішування електродного і основного матеріалів та розчинення вуглецю в аустеніті, механічні властивості зони зміцнення значно (до 50 %) вищі, ніж основного матеріалу, що викликає зростання запасу

міцності для отриманої системи матеріалів в цілому. Найбільш значний « σ -ефект» досягається при відносній площі зміцнення 65–75 %. Співставлення інтервалів найбільшого позитивного прояву « Δ -ефекту» та « σ -ефекту» дає змогу визначити рекомендований інтервал дискретності покриття в області 60-75%.

Експлуатаційними випробуваннями встановлено, що дискретне зміцнення чавунних валів забезпечує підвищення їх зносостійкості у 8-10 разів порівняно зі станом після нормалізації і в 1,3-1,5 разів порівняно з гартуванням СВЧ. Для сталевих валів зносостійкість зростає у 1,6-3,5 рази порівняно з азотуванням. Одночасно з цим як у сталі, так і у чавуні поліпшується припрацьовуваність і збільшується зносостійкість поверхонь тертя.

Таким чином, описаний спосіб електроіскрового легування є найбільш прийнятним для здійснення дискретного зміцнення поверхонь деталей, оскільки він має досить високу продуктивність (мілісекунди на одну зону дискретного зміцнення), створюється композиційна структура, яка поєднує зони основного та легуючого матеріалу, забезпечує стабільність процесу і дозволяє керувати величиною дискретності, та позбавлений недоліків вже існуючих технологій

Запропонована технологія дискретного зміцнення має пряме практичне спрямування. Впровадження результатів проведених дослідницьких робіт в серійне виробництво дало можливість скоротити закупівлю дорогих імпорتنих запасних частин до силових агрегатів, та інших вузлів машин машинобудівної галузі і зменшити капітальні витрати на створення спеціалізованих ділянок для зміцнення деталей, а, отже, значно скоротити споживання енергоресурсів. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробів машинобудівної галузі, в першу чергу виробництва і відновлення двигунів внутрішнього згорання, об'єктів військової техніки та інших машин.

Список літератури

1. Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Головащук М.В. Передумови становлення науково-виробничого напрямку "Інженерія дискретних поверхонь" // Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 23-ї міжнар. наук.-практич. конф., 27–28 вересня 2023р. Київ: АТМ України, 2023. С.67–73
2. Посвятенко Н.І., Посвятенко Е.К. Суть комбінованих методів інженерії поверхні деталей машин // Якість, стандартизація контроль: Теорія та практика: Матеріали 24-ї міжнар. наук.-практич. конф., 24–26 вересня 2024р. – Київ: АТМ України, 2024. С.109–113/
3. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. Київ: наук. думка, 2007. 558с.
4. Континуальна і дискретно-континуальна модифікація поверхней деталей: монографія /М.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Е.К. Посвятенко та ін. Харків, 2015. 259 с.
5. Improving the technology for restoring worn parts based on cold plastic deformation / Nemyrovskiy, Y., Otamanskyi, V., Shepelenko, I., & Posviatenko, N. *Problems of Tribology* V.29 № 3 /113-2024.PP. 31–42.
6. Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів: Автореф. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / В.Г. Гончаров: Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – Х., 2008. – 19 с.
7. Декл. пат. на корисну модель № 11798 Україна, МПК (2006), E21D21/00, B23H9/00/ Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів / Гончаров В.Г., Клімова О.П. – № u200505864; заявл. 14.06.2005; опубл. 16.01.2006. Бюл. №1.

Increasing the durability of highly loaded parts and components of road construction machinery and vehicles

Nataliia Posviatenko, Viktor Goncharov

Abstract. A classification of surface engineering methods based on information sources is made. The analysis and comparative characteristics of traditional technologies for strengthening and increasing the wear resistance and resource of highly loaded parts and assemblies of machine-building industry products and vehicles are given. Their shortcomings are shown, which apply to products that work with heavy loads and in adverse operating conditions. The proposed combined technology is based on the principles of discrete strengthening of the surface of parts. The essence of the technology, its advantages and theoretical justification of the processes that occur in the surface layers of parts and affect the tribological and wear characteristics are given. The feasibility of using this technology has been proven through numerous operational tests, which have proven the competitiveness of the proposed technology.

Keywords: vehicles; surface engineering; friction nodes; high-load parts.