

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1.7.1

7.1 Порівняльний аналіз технологій легування поверхні металевих виробів

З ростом вимог до якості робочого шару, до показників економічної ефективності процесів, до підбора матеріалів залежно від поверхневих властивостей і перетину деталей, а також внаслідок збільшення об'ємної частки комплекснолегованих сталей у процесі виробництва виробів, стають актуальними задачі застосування ресурсосберегаючих технологій для підвищення експлуатаційного ресурсу сталевих виробів, наприклад, легуванням [222-224]. Легування (від лат. ligo— зв'язую, з'єдную), – введення добавок у метали, сплави й напівпровідники для додання їм певних фізичних, хімічних або механічних властивостей [225]. Для легування використовують метали, неметали й лігатури. При легування металів і сплавів можуть утворюватися тверді розчини, суміші двох і більше фаз, інтерметаліди, карбіди, нітриди, оксиди, сульфіди, бориди й інші з'єднання легуючих елементів з основою сплаву або між собою [226-228]. У результаті легування істотно змінюються фізико-хімічні характеристики вихідного металу або сплаву й, насамперед, електронна структура [229]. Легуючі елементи впливають на температуру плавлення [226, 228-230], характер дефектів кристалічних ґраток [229, 232], на формування зерен і тонкої кристалічної структури [233-235], область існування алотропічних модифікацій і кінетику фазових перетворень [228, 236-238], на дислокаційну структуру [226, 229. 234], жаростійкість [229, 232] і корозійну стійкість [239-241], електричні, магнітні, механічні, дифузійні й багато інших властивостей сплавів.

Легування підрозділяють на об'ємне й поверхневе [227]. При об'ємному легуванні легуючий елемент середньо-статистично розподіляється в об'ємі металу. У результаті поверхневого легування легуючий елемент зосереджується на поверхні металу. Легування відразу декількома елементами, певний об'єм і співвідношення яких дає можливість одержати необхідний комплекс

властивостей, називають комплексним легуванням і відповідно сплави – комплекснолегованими. Наприклад, у результаті легування аустенітної хромонікелевої сталі вольфрамом її жароміцність зростає в 2...3 рази, а при спільному використанні W, Ti і ін. елементів – в 10 разів [226].

Розрізняють поняття: легування, мікролегування й модифікування [242]. При легуванні в сплав уводять від 0,2% по масі й більше легуючого елемента, при мікролегуванні – найчастіше до 0,1%, при модифікуванні – менше, ніж при мікролегуванні, або стільки ж, однак завдання, розв'язувані мікролегуванням і модифікуванням, різні. Мікролегування ефективно впливає на будову й енергетичний стан границь зерен, при цьому передбачається, що в сплаві будуть реалізовані два механізми зміцнення – завдяки легуванню твердого розчину й у результаті дисперсійного твердіння. Модифікування сприяє в процесі кристалізації подрібнюванню структури, зміні геометричної форми, розмірів і розподілу неметалічних включень, зміні форми евтектичних виділень, у цілому поліпшуючи механічні властивості. Поверхневе легування здійснюють у шарі до 1...2 мм і використовують для створення особливих властивостей на поверхні виробу.

В основі більшості традиційних процесів поверхневого легування сталей (у сполученні з термічною обробкою), лежить дифузійне насичення елементами з газової або рідкої фази й хімічне осадження з газової фази. Загальна назва цих методів – хіміко-термічна обробка (ХТО). До таких процесів відносять алітування (насичуючий елемент алюміній), цементация (насичуючий елемент вуглець), ціанування (насичуючі елементи вуглець та азот), азотування (насичуючий елемент азот), борування (насичуючий елемент бор) і т.інш. [227].

На машинобудівних заводах України найбільш широке застосування знайшли цементация, азотування й нітроцементация з газових середовищ і дифузійне насичення металами з порошкових сумішей [243-245]. Обробці піддаються відповідальні нарізні сполучення, втулки, зубчасті колеса, деталі механізму коробки зміни передач, ролики, кулачкові пари.

Широке поширення одержало азотування, у результаті якого деталі знаходять високу циклічну міцність і, відповідно, стійкість проти втомного зношування. Тому азотуванню піддають колінчасті вали, циліндри, поршневі кільця, сидла клапанів, зуби шестірень та бага інших деталей [246-248]. Ресурс шийок азотованих колінчастих валів перевищує амортизаційний строк двигуна. Крім зносостійкості, азотування надає деталям і високу корозійну стійкість. Зносостійкість зберігається при нагріванні до 773...873 К (що досить важливо для двигунів внутрішнього згоряння), у той час як при нагріванні цементованої поверхні вище 498..548 К її твердість, а отже, і зносостійкість знижуються [227]. Недоліками методу є збільшення деталей у розмірі й жолоблення. Тому азотовані елементи деталей піддають остаточній обробці у вигляді полірування або шліфування.

Процес електроіскрового легування заснований на переважному руйнуванні (ерозії) матеріалу анода при іскровому розряді [249]. Еродований матеріал під дією спрямованого електромагнітного поля переноситься на поверхню протилежного електрода – катода. При цьому на поверхні останнього утворюється шар зі зміненими структурою й фізико-хімічними властивостями. Існують дві принципові схеми процесу електроіскрового легування. По першій схемі процес складається з наступних етапів: рух анода до катода, пробій міжелектродного зазору, здійснення іскрового розряду, зіткнення електродів, рух анода від зміщеної поверхні. Легування по другій схемі здійснюється без механічного контакту електродів. Товщина шару розплаву, що утворюється при електроіскровому легуванні на поверхні катода не перевищує 10 мкм. У ході процесу електроіскрового легування, матеріал анода й поверхня катода піддаються імпульсній дії високих температур $(278...318) \cdot 10^3$ К й тиску $(10^6...10^8)$ Па), що разом зі складністю й вартістю підготовчих операцій затруднює впровадження процесу в промисловості. До недоліків цього способу також варто віднести тривалість і складність методу, а також крихкість і недостатню зносостійкість отриманого поверхневого шару.

Плазмові методи передбачають нагрівання поверхні за рахунок обробки струменем низькотемпературної плазми [250]. До недоліків плазмової технології варто віднести необхідність у розігріві всього виробу, що приводить до значних температурних деформацій, у також використання як джерело плазми дорогого газу – аргону. Для здійснення плазмового легування можливо використання доступного серійного технологічного устаткування, проте висока пористість напиленого шару і низька міцність знижують достоїнства цих методів.

Від усіх вище наведених методів відрізняється спосіб іонної імплантації, суть якого полягає в тім, що поверхню металу бомбардують у вакуумі потоком іонів легуючого елемента [251]. Імпантований елемент може входити в кристалічні ґратки основи у вигляді твердого тіла, або утворювати досить мілкокристалічні виділення хімічних сполук з компонентами матеріалу основи. Крім того, при впровадженні іона в кристалічних ґратах ініціюється зсув атомів, що приводять до утворення великої кількості дефектів кристалічних ґраток]. Товщина цього насиченого дефектами, й внаслідок цього зміцненого шару, в багато разів перевищує глибину проникнення іонів. Недоліками методу є необхідність використання вакуумних камер і недостатня товщина модифікованого шару, яка в більшості випадків обмежується десятками нанометрів і максимально може бути доведена до 1...2 мкм [252].

Усе ширше застосовуються швидкісні методи нанесення покриттів (хімічні – CVD і фізичні – PVD осадження), але вони поки не в змозі повністю замінити дифузійну ХТО, у результаті якої утворюються поверхневі шари із плавним підвищенням концентрації елементів, що дифундують [253].

Підсумовуючи вищенаведене, можна стверджувати, що сутність методів ХТО сталей полягає в поєднанні термічного й хімічного впливу з метою зміни складу, структури й властивостей поверхневого шару сталей. ХТО підвищує твердість поверхні, зносостійкість, кавітаційну й корозійну стійкість, створює на поверхні сприятливі залишкові напруги стиску, збільшує надійність і довговічність деталей за рахунок наступних процесів: 1) утворення поблизу поверхні деталі активних атомів у середовищі, що насичує; 2) адсорбції

(поглинання) поверхнею металу вільних активних атомів і розчинення їх у металі; 3) дифузії – переміщення адсорбованих атомів у ґратках оброблюваного металу. При цьому обов'язковою є розчинність елемента, що дифундує, в оброблюваному металі й висока температура, що забезпечує необхідну атомам енергію [254].

Проте перераховані методи ХТО мають ряд загальних істотних недоліків як за технологією процесу, так і по властивостях легованого шару. До числа основних недоліків, що обмежують застосування цих способів, як методів обробки що зміцнюють поверхню, можна віднести [252]:

- велику тривалість операції (наприклад, швидкість насичення вуглецем порядку 0,1 мм/год, а для одержання азотованого шару товщиною 0,5 мм на конструкційних сталях при 773...793 К потрібно витратити 50...70 годин), наслідком чого є мала продуктивність процесу;

- деформацію й жолоблення під дією напружень, створюваних умовами нагрівання під час технологічного процесу й наступного охолодження й, як наслідок, необхідність у додаткових операціях механічної обробки;

- крихкість і відлущування зовнішньої частини обробленого шару.

Також недоліками перерахованих вище методів ХТО є невелика товщина легованого шару й його поганий зв'язок зі структурою базового металу. При форсованих режимах експлуатації легований шар швидко зривається з поверхні деталі. Зокрема, легування бором намагалися застосовувати для зміцнення пластин прес-форм і шарошок бурових долот, але безуспішно, тому що шар у процесі роботи розтріскувався й відшаровувався [252]. Деякі з наведених вище методів легування не технологічні, їхній виробничий цикл має досить тривалий період, механізація праці робітників при цьому обмежена, культура виробництва наведених технологій вимагає модернізації.

Відома велика кількість марок сталей і сплавів, для яких не можна знайти універсального способу обробки поверхневого шару, досить ефективного для різних умов експлуатації. У зв'язку зі зростаючими експлуатаційними вимогами до навантажених сталевих деталей різних вузлів і механізмів, актуальними

стають завдання підвищення жаростійкості й тріщиностійкості. Однак звичайна хіміко-термічна обробка із загартуванням і відпуском, хоча й дуже впливає на властивості виробу, у багатьох випадках явно недостатня. Вона найбільшою мірою підходить для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості й у меншому ступені для підвищення жаростійкості й жароміцності, а також опору виникненню й поширенню тріщин. Встановлено, що на тріщиностійкість високоміцних сталей вирішальний вплив робить ряд факторів, пов'язаних зі станом поверхневого шару деталі [229]. До їхнього числа відносять локальну корозію, дефекти мікроструктури, залишкові напруги, ділянки концентрації напруг і ін. Для поліпшення тріщиностійкості обробку поверхні необхідно провести так, щоб створити напружений поверхневий шар, що характеризується дією стискаючих напруг. Все це вимагає розробки нових прогресивних методів поверхневої обробки та легування.

Застосування перерахованих вище методів поверхневого легування значною мірою пов'язане з історією розвитку машинобудування в розвинених країнах. Сама еволюція цих методів була викликана прагненням підвищити експлуатаційні якості поверхневих шарів навантажених сталевих виробів. На сучасному етапі розвитку техніки й технології особливу увагу залучають нові методи поверхневого легування, що дозволяють усунути перераховані недоліки вищенаведених методів. В основі цих нових методів лежить використання локальних джерел нагріву. Для модифікування поверхні металів перевага віддається таким методам, які використовують в якості теплового джерела концентровані потоки енергії: лазерні, іонні, ультразвукові та інші.