

Донбаська державна машинобудівна академія

Кафедра Підйомно-транспортних машин

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня
2019 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
«Технологія виробництва ПТМ»

галузь знань 13 – «Механічна інженерія»

спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

ОПП «Галузеве машинобудування»

Професійне спрямування Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини та обладнання

Факультет Машинобудування

Розробник: Бережна О.В. доцент, д.т.н.,

Краматорськ – 2019 р.

1. Механічні методи поверхневого зміцнення деталей машин

Вимоги щодо створення довговічних машин можна задовольнити не тільки розробкою сучасних конструкційних рішень і застосуванням нових високоміцних матеріалів, а й шляхом змін поверхневого шару деталей машин.

Процесом, що забезпечує отримання стабільних показників за якістю поверхні, є поверхнєве пластичне деформування, яке підрозділяється на згладжує і зміцнюючі.

1.1. Параметри стану поверхневого шару деталей машин

Поверхневий шар деталі - це шар, у якого структура, фазовий і хімічний склад відрізняються від основного матеріалу, з якого зроблена деталь.

У поверхневому шарі можна виділити наступні основні зони:

1. адсорбованих з навколишнього середовища молекул і атомів органічних і неорганічних речовин. Товщина шару $1 + 0,001$ мкм;
2. продуктів хімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем (зазвичай оксидів). Товщина шару 10 М мкм;
3. гранична товщиною кілька міжатомних відстаней, що має іншу, ніж в обсязі, кристалічну і електронну структуру;
4. з зміненими параметрами в порівнянні з основним металом;
5. зі структурою, фазовим і хімічним складом, який виникає при виготовленні деталі і змінюється в процесі експлуатації.

Товщина і стан зазначених верств поверхневого шару можуть змінюватися в залежності від складу матеріалу, методу обробки, умов експлуатації. Оцінка цього стану здійснюється методами хімічного, фізичного і механічного аналізу. Різноманіття параметрів стану поверхневого шару і методів їх оцінки не дозволяє виділити єдиний параметр, що визначає якість поверхневого шару. На практиці стан поверхневого шару оцінюється набором одиничних або комплексних властивостей, які оцінюють якість поверхневого шару.

Ці параметри характеризують:

- геометричні параметри нерівностей поверхні;
- фізичний стан;
- хімічний склад;
- механічне стан.

Геометричні параметри нерівностей поверхні оцінюються параметрами шорсткості, регулярних мікрорельєфів, хвилястості.

Шорсткість поверхні - це сукупність нерівностей з відносно малими кроками. Зразкове ставлення висоти нерівностей до кроку менше 50 .

Хвилястість поверхні - це сукупність нерівностей, що мають крок більший, ніж базова довжина, яка використовується для вимірювання шорсткості. Відношення висоти до кроку більше 50 і менше 1000 .

Хвилястість в Росії не стандартизована, тому для її оцінки використовують параметри шорсткості.

Регулярні мікрорельєфу - це нерівності, які, на відміну від шорсткості і хвилястості, однакові за формою, розмірами і взаєморасположенню.

Регулярний микрорельєф отримують обробкою різанням або поверхневим пластичним деформуванням роликками, кульками, алмазами.

Фізичний стан поверхневого шару деталей в технології зміцнення найбільш часто характеризується параметрами структури і фазового складу.

Структура - це характеристика металу, що залежить від методів вивчення його будови. Виділяють такі типи структур:

- кристалічна;
- субструктура;
- мікроструктура;
- макроструктура.

Кристалічна структура. Метали є кристали з тривимірною періодичністю. Основою кристалічної структури є тривимірна решітка, в просторі якої розташовуються атоми. Залежно від характеру розташування атомів в кристалічній решітці структури чистих металів поділяються на ряд типів (рис.1.2).

Субструктура. У реальному металі кристалічна структура має безліч дефектів, які в значній мірі визначають його властивості. Сукупність дефектів решітки і їх просторовий розподіл в кристалі називається Субструктура. Тут кристали можуть утворювати більші фрагменти - кристалітів, блоки, зерна, фрагменти, полігони.

Мікроструктура - це структура, яка визначається за допомогою металографічних мікроскопів. Цей аналіз дозволяє визначити наявність, кількість і форму структурних складових сплаву.

Макроструктура - це структура, яка визначається неозброєним оком або при невеликих збільшеннях. За допомогою макроаналізу визначають тріщини, неметалеві включення, домішки та ін.

Фізичний стан характеризується числом і концентрацією фаз, розподілом фаз по поверхневому шару, об'ємом сплаву і ін.

Дослідження фізичного стану здійснюється експериментальними методами фізики твердого тіла: дифракційними і мікроскопічними.

Хімічний склад характеризується елементним складом сплаву і фаз, концентрацією елементів в обсязі фаз, сплаву і ін.

Дослідження хімічного складу поверхневого шару дозволяють оцінити адсорбцію з навколишнього середовища молекул і атомів органічних і неорганічних речовин, дифузійні процеси, процеси окислення і інші, що відбуваються при обробці металів.

Механічне стан металу визначається параметрами:

- опором деформації: межа пружності, межа пропорційності, границя текучості, межу міцності, твердість і ін. ;

- пластичністю: відносне подовження, відносне звуження,

ударна в'язкість і інші, що встановлюються спеціальними випробуваннями зразків.

Наприклад, в процесі пластичної деформації, яка завжди супроводжує механічну обробку, всі характеристики механічного стану поверхневого шару змінюються: показники опору деформації збільшуються, а показники пластичності зменшуються. Це явище називають деформаційним зміцненням.

Важливою характеристикою стану поверхневого шару є залишкові напруги.

Залишкові напруги - це пружні напруги, які залишилися в деталі після обробки. Залежно від обсягу тіла, в яких розраховують залишкові напруги, вони умовно поділяються на залишкові напруги:

- першого роду, врівноважені в макрооб'ємі тіла;
- другого роду, врівноважені в межах розміру зерен;
- третього роду, врівноважені в межах декількох міжатомних відстаней.

Залежно від характеру і інтенсивності фізико-механічних процесів, що відбуваються при обробці, залишкові напруги можуть мати різний знак:

- (+) - розтягування;
- (-) - стискання.

Умова рівноваги вимагає, щоб в обсязі деталі сума проекцій всіх сил дорівнювала нулю. Тому в деталі є область, де стискають і розтягують залишковими напруженнями.

Узагальнено можна сказати, що залишкові напруги першого роду є результатом нерівномірних пластичних деформацій різних верств деталі (викривлення деталі).

Залишкові напруги істотно впливають на міцність і довговічність деталей машин і конструкцій. Залишкові стискають напруги, що виникають в поверхневому шарі, підвищують циклічну міцність деталей, тому що вони розвантажують поверхневі шари від напружень, викликаних навантаженнями і, навпаки, розтягують залишкові напруги зменшують міцність деталей внаслідок підвищення напруженості поверхневого шару.

Структурні недосконалості в реальних кристалах

Відповідно до сучасних поглядів на будову металу, істотна відмінність теоретичної і фізичної міцності пояснюється наявністю структурних недосконалостей (дефектів) кристалів.

Структурні дефекти впливають на зміцнення і руйнування металу при обробці.

Структурні недосконалості в кристалах виникають в результаті кристалізації металу, термічної обробки, пластичної деформації та ін.

Структурні недосконалості (дефекти) кристала по геометричній ознаці поділяються на 4 групи:

- точкові;
- лінійні;
- поверхневі (плоскі);
- об'ємні.

Точкові дефекти за своїми розмірами можна порівняти з розмірами атома. У чистих кристалах можливі два типи точкових дефектів:

- вакансії;
- межузельні атоми.

Вакансії утворюються при видаленні атома з вузла решітки, а межузельний атом при введенні атома в межузельний простір.

Освіта вакансій і міжвузлових атомів пов'язано з тим, що коливаються біля положення рівноваги атоми можуть під впливом привнесеної ззовні енергії виходити з положення рівноваги, утворюючи після себе в вузлі кристалічної решітки порожнечу (вакансію) і, відповідно, межузельний атом. Безліч вакансій і міжвузлових атомів може бути збільшено різким охолодженням металу, пластичною деформацією, опроміненням високоенергетичними променями, магнітним полем і ін.

Всі точкові дефекти утворюють локальні спотворення кристалічної решітки, підвищуючи тим самим енергію, залежну від розміру введених атомів і відстань між ними.

Лінійні дефекти кристалічної решітки мають розміри, близькі до атомним в двох вимірах і значну протяжність в третьому. До цього виду дефектів відносяться дислокації, найпростішими з яких є крайові і гвинтові.

На рис.1.5 показана модель крайової дислокації на прикладі простого кубічного кристала. Вона утворюється шляхом впровадження в кристал зайвої площини атомів ABCD званої екстраплощини. кордон

екстраплощини - лінія CD - є крайовою дислокацією. Екстраплощини діє як клин, створюючи сильне спотворення кристалічної решітки, особливо в околиці атомів, розташованих на лінії дислокації CD.

Якщо екстраплощини розташована зверху дислокації, то дислокацію називають позитивною і позначають знаком \wedge . Дислокація є негативною, якщо екстраплощини розташована під нею. В цьому випадку вона позначається знаком \cup .

Гвинтові дислокації утворюються при зміщенні частини кристала, розділеного площиною ABCD, щодо іншої в напрямку AB.

До лінійним відносять змішані дислокації, в яких містяться частини у вигляді крайової і гвинтової дислокації.

Поверхневі дислокації - це дефекти, які мають значну протяжність в двох напрямках. До них відносять кордону між субзернами, зернами, міжфазні кордону, дефекти упаковки кристалічної решітки, скупчення дислокацій в одній площині і ін.

Об'ємні дефекти мають протяжність у всіх трьох вимірах. До цих дефектів відноситься сукупність точкових, лінійних і поверхневих дефектів, які призводять до спотворення кристалічної решітки в великих обсягах кристала.

Крім того, до об'ємним дефектів відносять наявність фаз, дисперсних виділень, різних включень, а також нерівномірність розподілу напружень і деформацій в макрооб'ємі.

Наявність дефектів кристалічної решітки викликає її спотворення. Мірою спотворення решітки є вектор Бюргерса, що характеризує енергію дислокації і сили, що діють на неї.

Утворення і розмноження дислокацій

Дислокації виникають при кристалізації або охолодженні кристалів після зникнення рідкої фази.

В теорії дислокації розглядаються множинні механізми виникнення дислокацій. Всі вони зводяться до виникнення локальних ділянок концентрації напружень на кордоні твердих і рідких фаз. Ця концентрація виникає в результаті термічних градієнтів, зміни складу і структури кристала, наявності домішок, вакансій, різних випадковостей роду кристалів, розмноження зародилися на перших етапах кристалізації дислокацій і ін.

У полікристалічних тілах (металах) кристали (зерна) відрізняються просторовою орієнтацією. У середині зерен існують субзерна, в яких є блоки, розорієнтовані відносно один від одного на кут менш 10° . Межі зерен і блоків є джерелами зародження дислокацій.

На рис.1.8 показана малокутових межа блоків. Грати блоків пружно сполучаються в усіх областях, крім тих, в яких знаходяться дислокації.

Виникнення дислокацій призводить до виникнення дефектів упаковки, тобто порушення чергування шарів кристалічної решітки.

Дислокації, що виникли при кристалізації, мають властивості розмножуватися або зникати при пластичній деформації, термообробки або інших видах енергетичного впливу. Одна з моделей розмноження дислокацій при пластичній деформації, запропонована Франком і Рідом, представлена на рис.1.9.

Маємо відрізок дислокації $AB = L$ (а), закріплений на кінцях. На цей відрізок діє нормальна сила F . Під дією зростаючої напруги лінійна дислокація поводить як пружна нитка - вона вигинається. З умови рівноваги напруга, що перешкоджає цьому вигину, визначається

Основні види обробки поверхневим пластичним деформуванням

Алмазне виглажування

Відрізняється порівняно малою площею контакту інструмент-деталь, тому застосовується при обробці нежорстких деталей, міцних і загартованих матеріалів. Алмазне виглажування зовнішніх, внутрішніх і фасонних поверхонь аналогічно обробці роликками і кульками. При алмазного виглажування обробка поверхневим пластичним деформуванням проводиться в умовах тертя ковзання (з малим коефіцієнтом тертя), а при обкатці роликками і кульками - тертя кочення. Робочим інструментом служать прості за конструкцією державки з наконечниками з природних і штучних алмазів у вигляді півсфери, циліндра або конуса. Виглажують деталі жорстким або нежестким (підпружиненим) інструментом. Номенклатура деталей, оброблюваних алмазними виглажувачами, надзвичайно велика.

Виглажування є одним з методів обробно-зміцнюючої обробки поверхні

пластичним деформуванням і полягає в пластичній деформації оброблюваної поверхні ковзаючим по ній інструментом - виглаживателем, закріпленим в оправці алмазним кристалом, який має такі властивості:

- високу твердість;
- низьким коефіцієнтом тертя;
- високим ступенем чистоти;
- високою теплопровідністю.

Вигладжування проводиться: для зменшення шорсткості поверхні (обробка), зміцнення поверхневого шару, підвищення точності розмірів і форм деталей (калібрування).

Притиснутий до оброблюваної поверхні з силою інструмент впроваджується в неї на глибину Y_d і при своєму русі згладжує вихідні нерівності. Висота шорсткості в напрямку швидкості (поздовжня шорсткість) зазвичай значно менше, ніж висота поперечної шорсткості (в напрямку подачі). Після проходження інструменту відбувається часткове пружне відновлення поверхні. Попереду виглаживателя утворюється валик пластично деформованого металу, передня поверхня виглаживателя навантажується набагато більше, ніж задня поверхня. З цієї причини, а також внаслідок адгезійної взаємодії між деталлю і інструментом в процесі вигладжування виникає тангенціальна складова сили.

Розглянемо тепер деформацію поверхневого шару в напрямку подачі.

При поздовжньому переміщенні виглаживатель розсовує метал деформуються поверхневих нерівностей в сторони. При цьому з боку вихідної поверхні утворюється валик деформованого металу, а з боку вигладженою поверхні відбувається спотворення профілю канавок, що утворилися при попередніх оборотах деталі в результаті пластичної течії металу, що видавлюється з-під виглаживателя в сторону вигладженою поверхні. Найбільшою мірою спотворюється профіль канавки, утвореної на попередньому обороті.

Після кожного обороту оброблюваної деталі канавка-слід виглаживателя переміщається в осьовому напрямку на величину подачі S . При цьому відбувається багаторазове перекриття її при наступних обробках оброблюваної деталі, тому що ширина канавки більше величини подачі. З боку невивглаженої поверхні утворюється валик деформованого металу, права полуповерхність (в напрямку подачі) навантажена набагато більше, ніж ліва полуповерхність. Тому в процесі вигладжування виникає осьова сила.

В результаті пластичного деформування оброблюваної поверхні відбувається згладжування вихідних нерівностей і утворення нового мікрорельєфу поверхні зі значно меншою висотою нерівностей. Розмір деталі зменшується на величину залишкової деформації. На величину і форму утворюються нерівностей впливає також неоднорідність шорсткості поверхні і твердість оброблюваної поверхні, коливання сили вигладжування, викликані биттям деталі та ін. Це викликає відхилення вихідного мікрорельєфу від отриманого при деформації поверхні.

Утворений в результаті алмазного вигладжування мікрорельєф поверхні

обумовлюється наступними факторами:

- кінематикою процесу (напрямок взаємного переміщення інструменту і оброблюваної деталі);
- величиною вихідної шорсткості;
- формою і розміром робочої частини алмаза;
- величиною впровадження алмазу в оброблювану поверхню;
- пластичним перебігом матеріалу, що обумовлює появу вторинної шорсткості;
- шорсткістю робочої частини алмазу;
- величиною пружного відновлення поверхні після вигладжування.

Формування поверхневого шару при алмазного вигладжування відбувається внаслідок пластичного деформування оброблюваної поверхні. Під дією радіальної сили, що діє на поверхню контакту алмазу з деталлю, виникають контактні тиску. Якщо їх величина перевищує межу текучості, виникає пластична деформація тонких поверхневих шарів. При пластичної деформації поверхневий шар має специфічне волокнисту будову, вихідна кристалічна решітка спотворюється.

Ефективність алмазного вигладжування різних матеріалів в значній мірі визначається їх вихідною структурою.

Дослідженнями встановлено, що при вигладжуванні найбільш інтенсивно виникає деформація в фериті, менш інтенсивно - в перліті і мартенсите.

Висока ефективність зміцнення пояснюється більш високою щільністю дефектів, що утворюються в поверхневому шарі, за рахунок концентрації дислокацій. При цьому створюється тонке структурний стан металу, яке забезпечувало б максимальну затримку дислокацій і мінімальний їх вихід на поверхню. При алмазного вигладжування щільність дислокацій в поверхневому шарі близька до граничного значення. Зі збільшенням відстані від поверхні щільність дислокацій зменшується.

Особливість процесу алмазного вигладжування: якщо при інших видах зміцнення повністю або частково видаляється шар металу,

деформований на попередній операції, то при алмазного вигладжування той шар не віддаляється, а зазнає додаткову упругопластическіе деформацію.

Оптимальне зусилля $P_U = 300-200\text{Н}$. При $P_U = 300\text{Н}$ зростає глибина зміцненого шару, збільшується мікротвердість в нижніх шарах, проте зменшення мікротвердості в верхньому тонкому поверхневому шарі відбувається за рахунок зменшення пластичності.

Сили, які виникають при алмазному виглажуванні

При вигладжуванні сила P розкладається на складові: нормальну P_U , тангенціальну P_T і силу подачі P_X .

Інструменти для виглажування

Для виготовлення виглаживателів використовують природні і синтетичні алмази.

Стійкість природних і штучних алмазів приблизно однакова.

Інструмент зі сферичною формою заточування дозволяє обробляти

зовнішні, внутрішні і плоскі поверхні як методом вигладжування, так і вібровиглаживанієм.

Циліндричну форму застосовують тільки для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь.

Тороїдальна форма широкого застосування не знайшла через відсутність природних і синтетичних алмазів великого розміру.

Конічний виглаживатель працює великий поверхнею конуса.

Застосування. Алмазним виглаживателем можна обробляти майже все що застосовуються в промисловості метали і сплави, за винятком титану, цирконію і ніобію, так як вони налипають на робочу частину виглаживателя.

Деталі: всі види поверхонь (зовнішні, внутрішні, плоскі, профільні) валів, штоків, циліндрів, поршневих пальців і т.д.

Не можна використовувати для деталей мають нерівномірну твердість.

Вібровиглажування

При вібраційному вигладжуванні інструменту у вигляді сфери (інші форми заточування незастосовні) додатково надається возвратно- поступальне переміщення по поверхні деталі.

В результаті на поверхні утворюється синусоїдальний канал. При обробці інструмент ковзає або по вихідній, або по частково вигладженою поверхні, а при кожному подвійному ході змінюється напрямок руху інструменту і дуга контакту інструменту з оброблюваної поверхнею.

Мікрорельєф, одержуваний при вібровиглаживанні, за характером і щільності синусоїдальних каналів підрозділяється на 4 види.

Варіювання форм, розмірів і розташування мікронерівностей по поверхні досягається зміною режимів обробки:

- швидкості обертання деталі;
- подачі інструменту;
- амплітуди і частоти його коливань;
- сили поджима інструменту до деталі;
- радіусу сферичної частини інструменту.

Як інструмент тут застосовують кульки діаметром 4-10 мм, і сферичні наконечники з алмазів. У першому випадку обробку ведуть тертям кочення, у другому - тертям ковзання. У першому випадку називається віброобкативаніє, у другому - вібровиглаживаніє.

Переваги вібровиглаживанія перед вигладжуванням:

- збільшення залишкових напружень в 1,3-1,7 разів;
- збільшення довжина каналу в 1,5-2 рази;
- підвищення зносостійкості деталі в 1,5 рази;
- можливість виготовлення будь-якого мікрорельєфу для контактуючих

тіл;

- можливість утримання масляної плівки в каналах при терті;
- зміцнення з оплавленням поверхні деталі;

Дорнованіє - ефективний метод калібрування і обробки внутрішніх

поверхонь деталей машин. Інструмент переміщається в отворі з натягом, він є основним технологічним параметром процесу. Процес виконується за один або кілька проходів інструменту. Калібрування підвищує точність отворів і забезпечує високу якість поверхні; процес продуктивний. Дорнованіє застосовується для обробки отворів

(Рис. 1.13). Формотворна обробка застосовується для отримання на поверхні деталі дрібних шліців і інших рифлень. Товщина зміцненого шару при дорнованні регулюється натягом, тобто різницею діаметрів дорна «Д» і отвори «д» заготовки.

Методи накочування, вигладжування і деформуєчого протягування відносяться до методів статичного поверхневого деформування. Характерною ознакою цих методів є стабільність форми і розмірів ОД в стаціонарній фазі процесу.

Поряд з цими методами в машинобудуванні існує велика кількість методів поверхневого пластичного деформування, заснованих на динамічному (ударному) впливі інструменту на поверхню деталі (рис.1.14). У цих процесах інструмент впроваджується в поверхневий шар деталі перпендикулярно профілю поверхні або під деяким кутом до неї. Численні удари, що наносяться інструментом по деталі за заданою програмою або хаотично, залишають на ній велике число локальних пластичних відбитків, які в результаті покривають (з перекриттям або без нього) всю поверхню. Розміри осередку деформації залежать від матеріалу деталі, розмірів і форми інструменту і від енергії удару по поверхні.

При карбуванні завдають ударів ударниками з бойками по оброблюваній поверхні за допомогою механічних, пневматичних або

електромеханічних спеціальних пристосувань. Після карбування твердість поверхні зростає на 30 ... 50%, глибина зміцнення - до 30 мм. Карбування ефективна для обробки деталей машин, таких як зубчасті колеса, шліцьові вали з різних матеріалів. Добре упрочнюються карбуванням зварні шви. До методів ударного поверхневого пластичного

деформування відносяться карбування, обробка дробом, виброударної, ультразвукової, відцентрово-ударної обробка та ін.

Дробоструйна обробка (наклеп) здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоку чавунної, сталевий або інший дробу, який направляєється, наприклад, роторним дробеметом.

Відцентрово-кулькова обробка здійснюється за рахунок кінетичної енергії сталевих кульок (роликів), розташованих на периферії обертання диска.

При обертанні диска під дією відцентрової сили кульки відкидаються до периферії обода, взаємодіють з оброблюваною поверхнею і відкидаються всередину гнізда.

Поверхнєве пластичне деформування:

- підвищує щільність дислокацій в зміцненому шарі;
- подрібнює вихідну структуру;
- підвищує величину твердості поверхні;
- зменшує величину шорсткості;
- підвищує зносостійкість деталей;
- збільшує опір схоплюванню поверхонь;
- збільшує межа витривалості.

Сутність зміцнення пластичним деформуванням

Полікристалічні тверді тіла складаються з великого числа зерен (кристалів), розділених між собою кордонами. Кожне зерно має дефекти. Зерна мають різну орієнтування.

При додатку зовнішнього напруги до металу пластична деформація в першу чергу відбудеться в зерні, найбільш сприятливо орієнтованому до зовнішнього напрузі (тобто з найбільшим дотичним напруженням). З ростом зовнішнього напруги спостерігається поступове залучення інших зерен в процесі пластичної деформації при збереженні суцільності зерна. На малюнку показана схема передачі пластичної деформації від зерна до зерна. Під дією зовнішнього сдвигаючого напруги T_s дислокації, які генеруються активним джерелом В, приходять до кордону зерна і затримуються біля неї. У міру накопичення дислокацій у точки «Р» зростає напруга. Однак цього недостатньо, щоб перейти з одного зерна в інше через кордон MN. Тому поширення ковзання від одного зерна до іншого здійснюється за рахунок того, що при досягненні певного значення напруги в точці «Р» збуджується джерело дислокації в сусідньому зерні, наприклад в точці А.

Рух дислокацій, що генеруються джерелом А, буде відбуватися по найбільш сприятливо орієнтованій площині ковзання.

Розглянутий механізм гальмування дислокацій біля кордонів зерна називається бар'єрним зміцненням.

Зміцнення більш інтенсивно відбувається на кордонах зерен, дрібне зерно зміцнюється інтенсивніше великого.

Якщо дислокація надійно затримується кордоном і можливості естафетної передачі деформації обмежені, то деформація локалізується в мікрооб'ємах, а напруга плинності зростає.

Істотна локалізація деформацій підвищує концентрацію напружень, що призводить до передчасного руйнування, тобто зниження пластичності.

Поряд з величиною зерна на деформаційне зміцнення металів великий вплив робить кількість і розмір внутрізеренних блоків (осередків). З підвищенням ступеня деформації і збільшення щільності дислокацій відбувається дроблення зерна на блоки по площинах скупчення дислокацій.

Методи лазерного, електронно-променевого, плазмового і детонаційного зміцнення деталей машин

Існує чотири групи методів зміцнення поверхонь деталей машин концентрованими потоками енергії:

- електронно-променева обробка;
- полум'яне і детонаційне напилення;
- вакуумна іонно-плазмова обробка;
- лазерна обробка.

До першої групи належать методи, основою яких є перенесення енергії від променевого джерела до оброблюваної поверхні, яка в результаті потужного локального енергетичного впливу набуває нових властивостей.

До другої групи належать методи, основу яких складає перенесення речовини від деякого джерела до попередньо очищеної оброблюваної поверхні, на якій ця речовина осідає, формуючи захисне покриття.

У третій групі використовується джерело речовини, великі частки якого розігріваються і розганяються до високої енергії і впроваджуються або прилипають до оброблюваної поверхні, формуючи на ній шар нанесеної речовини.

Лазерне зміцнення

Основою процесу лазерного зміцнення є швидке нагрівання до високої температури (температури плавлення) поверхневого шару металу з наступним швидким охолодженням шляхом відведення тепла в основний обсяг металу, який залишається практично холодним.

В принципі необхідне підвищення температури металу можна отримати і стандартними методами - нагріванням в термічній або індукційній печі. Однак ці методи часто є непридатними через неоднорідність нагрівання. Крім того, в великогабаритних деталях дуже часто необхідно загартувати тільки частина поверхні, а не весь обсяг деталі. Поверхневу обробку деталі можна зробити тільки лазерної термообробкою, яка може проводитися з опалювальному і без оплавлення поверхневого шару ..

Можлива обробка перекриваються і не перекриваються доріжками. При накладенні доріжки зміцнення відбувається частковий нагрів попередньої зміцненої зони, що може привести до відпустки і зниження твердості. При обробці перекриваючихся доріжками зазор між ними становить 10-30% від площі оброблюваної поверхні, відбувається зменшення зносу в 2-3 рази.

Лазерне зміцнення застосовується для обробки колінчастих валів двигунів, гільз циліндрів, зубчастих коліс, деталей хімічної, нафтової і бурового обладнання.

Лазерне наплавлення

Лазерна наплавлення порошкових матеріалів забезпечує отримання наплавленого шару високого ступеня однорідності і якості без значного термічного впливу на нижні шари металу. Застосовують порошки хрому, бору, нікелю, кремнію.

Сутність процесу наплавлення полягає в нанесенні на поверхню деталі шару порошку і подальшого його розплавлення променем лазера. Порошок дифундує в основний метал, а швидке охолодження дозволяють отримати

однорідну структуру поверхневого шару. Після подальшої шліфовки товщина наплавлення може досягати 0,2-0,4 мм, підвищується зносостійкість наплавленого шару в 2-3 рази.

Лазерне обладнання

Лазерна установка призначена для поверхневого зміцнення металу, містить в якості основних елементів лазер з блоком живлення, оптичну систему для транспортування і фокусування лазерного променя, систему позиціонування оброблюваної деталі, систему управління і контролю параметрів обробки.

Лазери можуть бути електророзрядні CO₂ лазери і твердотільні Nd-лазери.

Електророзрядні CO₂ лазери мають більшу довжину хвилі (10,6 мкм), електророзрядні збудження, прокачування газової суміші (CO₂, N₂, He) по замкнутому контуру, використовуються для безперервної обробки. Їх потужність складає 1-25 кВт. Твердотільні Nd-лазери працюють від активного елемента у вигляді стрижня або пластини в переривчастому і безперервному режимах. Ці лазери мають потужність до 200 Вт і до 3 кВт, довжину хвилі менше 10,6 мкм і, отже, більш високе поглинання в металі. Можна використовувати транспортування променя по Світоволокну. Для поверхневого зміцнення металу краще застосовувати твердотільні Nd-лазери.

Електронно-променева обробка

Тут обробка поверхні проводиться потужним електронним пучком в вакуумному середовищі. При цьому необхідний захист оператора від рентгенівського випромінювання, що перешкоджає широкому масовому поширенню такого зміцнення.

Переваги в порівнянні з лазерною обробкою:

- більш високий ККД;
- більш висока потужність;
- менша вартість.

Застосовують наплавку з порошком алюмінію, заліза і нікелю в середовищі азоту. Знос зменшується в 2-4 рази.

Лазерне зміцнення застосовується для обробки колінчастих валів двигунів, гільз циліндрів, зубчастих коліс, деталей хімічної, нафтової і бурового обладнання.

Електронно-пучкове обладнання

Електронний, як і променевої джерело енергії, за своїми технологічними можливостями близький до лазерним джерел. Установка містить: електронну гармату з блоком живлення, герметичну вакуумну камеру з пристроями переміщення оброблюваної деталі або гармати, вакуумну систему з насосами, систему управління і контролю.

Потужність до 20 кВт.

Методи детонаційного та плазмового нанесення покриттів

Ці методи відносяться до газотермічних методам, дія яких заснована на повному або частковому нагріванні матеріалу покриття до стану плавлення і розпиленні його газовим струменем. Напилюваний матеріал може бути у

вигляді дроту або порошку. Нагрівання напилюваного матеріалу може проводитися від газового полум'я, плазми електричної дуги або від детонації вибухової газової суміші.

У детонаційному методі використовується енергія киснево-ацетиленових вибухів, яка забезпечує необхідний розігрів і прискорення напилюваного матеріалу, а при плазмовому - енергія плазмового струменя. Розпорошуються частки матеріалу вдаряються в підкладку і розплющуються, утворюючи тонкі лусочки, що закріплюються на поверхневому шорсткуватому шарі шляхом механічного та фізико-механічного взаємодії з матеріалом основи. В результаті взаємодії окремих лусочок утворюється своєрідна структура напилюваного покриття. Чим більше швидкість зіткнення часток, тим вище міцність покриття, що наноситься. При детонаційному напиленні швидкість руху напилюваного порошку становить 600-1000 м / с, що в 4-7 разів більше, ніж при плазмовому і газополум'яної методах напилення.

Особливість цих методів зміцнення - можливість наносити тугоплавкі матеріали на металеву підкладку без значного її нагрівання (не більше 1500С), тобто наносити покриття на остаточно термооброблені і зміцнені сталі, алюмінієві, титанові та інші сплави після фінішної механічної обробки, не побоюючись зміни властивостей структури поверхневого шару.

Процес плазмового напилення відбувається в два етапи:

- 1) політ і розпорошення часток напилюваного матеріалу;
- 2) удар об оброблювану поверхню, з'єднання частинок з нею і між собою.

Освіта покриття відбувається внаслідок зіткнення часток з поверхнею оброблюваної деталі, їх сильного деформування, розплющування і розбризкування. В результаті отримується покриття, так само як і в разі детонаційного напилення, складається ніби з лусочок напилюваного матеріалу, з'єднаних між собою по контактній поверхні ділянками зварювання, тому міцність і щільність покриття нижче міцності і щільності вихідного матеріалу.

При детонаційному напиленні кінетика і механізм формування покриттів визначаються пластичної деформацією частинок порошку і підкладки в зоні зіткнення, де відбувається локальне підвищення активності твердої підкладки під дією тиску від удару твердих частинок, що викликає пружні спотворення решітки і пластичну деформацію.

Це призводить до збільшення міцності зчеплення покриття з основним металом.

Для підвищення фізико-механічних властивостей напиляного шару і поліпшення адгезії до підкладки застосовують додаткову операцію оплавлення. Суть її: напилений шар нагрівають до температури, близької до його плавлення. В результаті нагрівання між напиленням шаром і основним металом протікає дифузійний процес, і при охолодженні утворюється щільне покриття. Пори, що залишаються після напилення, заповнюються розплавленою частиною напиляного матеріалу. Після охолодження виходить рівномірний тонкий без пір однорідний шар. При цьому охолодження ведуть разом з піччю.

Способи оплавлення:

- плазмової або газовим пальником;
- в електричній печі;
- в соляній ванні;
- ТВЧ.

Методом детонацій_напиляють пластичні метали і сплави (Cu, Ni, Fe і ін.), Тверді непластическіє метали і тугоплавкі з'єднання (W, Al₂O₃ і ін.)

Застосування: моторобудування; авіаційне, верстато- та приладобудування; хімічне і металургійне машинобудування; інструментальне виробництво; ракетна, космічна і ядерна техніка.

При плазмовому напиленні як плазмообразующих газів використовують аргон, неон, азот, водень, гелій, аміак, природний газ і їх суміші. Порошок вводиться в плазмовий струмінь.

Обладнання для детонаційного нанесення покриття

Розроблено конструкції детонаційних установок з внутрішнім і зовнішнім сумішоутворенням. У першому випадку роль камери для утворення горючої суміші виконує стовбур; у другому - в стовбур подається горюча суміш, підготовлена в змішувачі.

Детонационная установка з внутрішніми смесеобразователями є водоохолоджуваній стовбур довжиною 1-1,8 м з внутрішнім діаметром від 10 до 40 мм. У стовбур подається суміш кисню і ацетилену разом з порцією порошку. Вибухають газова суміш запалюється за допомогою електричного імпульсу, і детонационная хвиля переміщається по стовбуру, прискорюючи і нагріваючи порошок. Частинки порошку прискорюються до швидкості 500-1000 м / с і вдаряються в деталь, утворюючи пляму діаметром, що залежать від діаметра стовбура. Потім стовбур очищається азотом, і процес повторюється. Частота повторень 4-8 циклів / с.

Плазмове поверхнєве зміцнення деталей

Однією з найбільш перспективних обробок є плазмова технологія, інтенсивно розробляється як в нашій країні, так і за кордоном. Використання низькотемпературної плазми ефективно не тільки для переплавки металів і сплавів; напилення зносостійких, жароміцних і корозійностійких покриттів різання і зварювання різних матеріалів, але і для поверхневого зміцнення різних виробів.

Плазмове поверхнєве зміцнення знаходить широке застосування як в умовах дрібносерійного і одиничного (в тому числі ремонтного), так і великосерійного і масового виробництва. Сутність його полягає в термічних фазових і структурних перетвореннях, що відбуваються при швидкому концентрованому нагріванні робочої поверхні деталі плазмовим струменем (дугою) і теплоотводе в матеріал деталі.

Устаткування для плазмового зміцнення деталей

Для здійснення різних видів плазмової обробки матеріалів (різання, зварювання, напилювання, поверхневого зміцнення, легування) використовуються установки, які включають джерело живлення з апаратурою

управління; механізми, що забезпечують рівномірне переміщення плазматрона над оброблюваною поверхнею, і плазматрон.

Установка для мікроплазменної обробки МПУ-4 забезпечує надійну роботу в чотирьох режимах горіння дуги:

А - безперервний режим струму дуги прямої полярності;

В - імпульсний режим струму дуги прямої спрямованості;

З - імпульсний режим струму прямої і зворотної спрямованості;

Д - безперервний режим струму дуги зворотної полярності.

Для генерування плазмового джерела нагріву широко використовуються плазматрони з відкритою дугою, або прямої дії (позитивний заряд подається на зміцнюючих деталей), і плазматрони із замкнутою дугою - струменем (рис.2.2, б), або побічної дії (негативний і позитивний заряди подаються на деталі плазматрона - відповідно катод і анод). Плазматрон є основним елементом енергетичної частини установок для плазмового зміцнення деталей і являє собою пристрій, що генерує стабілізований в просторі потік дугової плазми з температурою до декількох тисяч градусів.

До плазматрон ставляться такі вимоги:

- потужність;
- висока енергетична ефективність;
- стабільність параметрів плазмового потоку;
- велика тривалість безперервної роботи;
- надійність конструкції;
- простота обслуговування;
- можливість використання різних плазмообразуючих газів.

Потужність плазматрона залежить від виду електроплазменного процесу, може змінюватися від одиниці кіловат до декількох сотень мегават. Для напилення і плазмового зміцнення використовуються дугові плазматрони потужністю до 100 кВт.

Потужність плазматрона залежить від виду електроплазменного процесу, може змінюватися від одиниці кіловат до декількох сотень мегават. Для напилення і плазмового зміцнення використовуються дугові плазматрони потужністю до 100 кВт.

Потужність плазматрона залежить від виду електроплазменного процесу, може змінюватися від одиниці кіловат до декількох сотень мегават. Для напилення і плазмового зміцнення використовуються дугові плазматрони потужністю до 100 кВт.

Висока енергетична ефективність плазматронов - це можливість ефективного перетворення електричної енергії в теплову, отримання максимального ККД технологічного процесу. Ефективність ведення технологічного процесу залежить від стабільності параметрів плазмового потоку. На початку плазматрони можуть створювати значні пульсації параметрів плазмового потоку, що призводить до нерівномірного введення тепла в зміцнене виріб і, як наслідок, нерівномірного розподілу твердості по

довжині і ширині зміцненої зони.

Дугові плазматрони, призначені для плазмового поверхневого зміцнення, можуть працювати 200 годин і більше без зміни електродів.

Надійність конструкції плазматрона визначається багатьма факторами: простотою його конструкції, надійністю збирання та розбирання, зручністю монтажу і т. Д.

Під простотою обладнання слід розуміти простоту кріплення плазматрона в технологічній зоні, збирання та розбирання, точність збудження електричного розряду без введення додаткових пристроїв в область розрядного каналу.

Процес ерозії електродів в дугових плазматронах обмежується застосуванням різноманітних плазмообразуючих засобів.

Плазматрони класифікуються за рядом ознак.

За призначенням плазматрони для поверхневого зміцнення поділяють на машинні і ручні.

За принципом роботи плазматрони можуть бути з зовнішньої, або винесеної дугою (плазматрони прямої дії), і з внутрішньої дугою (плазматрони поверхневого дії). Найбільш широке застосування для зміцнення деталей складної форми отримали плазматрони побічної дії.

За родом використовуваного струму розрізняють плазматрони постійного струму і плазматрони змінного струму. Найбільшого поширення набули плазматрони постійного струму, так як більш прості за своїми конструктивними схемами і мають високу ефективність перетворення електричної енергії в теплову.

За родом застосовуваної робочої середовища можна виділити три типи плазматронов: з нейтральним робочим газом, з окислювальним середовищем і водою. З газів, нейтральних по відношенню до робітників електродів, найбільше застосування отримали аргон, азот, водень і їх суміші. З точки зору економічності процесу доцільно використовувати плазматрони, що працюють на повітрі, проте стійкість електродів у таких плазматронов відносно невелика через значну їх ерозію.

Попри всю різноманітність конструкцій все плазматрони мають три основні елементи: електрод (катод), сопло (у плазматронов побічної дії - анод) і ізолятор (проміжна вставка). Ізолятор розділяє електрод і сопло, які знаходяться під різними електричними потенціалами.

Електроди плазматрона за типом і по конструкції залежать від складу плазмоутворюючого середовища. Як матеріал для електродів, що працюють в окисних середовищах, використовують графіт, в нейтральних газах - вольфрам. Конструктивно електроди виконують двома способами: у вигляді прутка, який фіксується цанговим затискачем, закріпленим в електродному вузлі плазматрона, і мідної державки з запресованим в неї стрижнем електрода.

Сопло плазматрона призначене для формування геометричних і енергетичних параметрів дуги. Основні параметри сопла - діаметр і висота каналу. Для зміцнення деталей бажано зменшувати діаметр сопла і збільшувати висоту каналу сопла, що сприятливо позначається на технологічних

можливостях плазматрона, так як при цьому збільшується швидкість зміцнення і глибина зміцненої зони. Однак значне зменшення діаметра сопла призводить до зниження його стійкості, і виникають труднощі з запалюванням дуги.

До матеріалу проміжних вставок висувають такі вимоги:

- висока електрична міцність, так як збудження дуги здійснюється найчастіше за допомогою високовольтного високочастотного розряду;
- висока механічна міцність, оскільки проміжні вставки виконують функції несучих частин конструкції, на якій кріпляться інші вузли плазматрона;
- можливість обробки ріжучим інструментом;
- термостійкість, так як схильні до дії теплового і світлового випромінювання дуги;
- герметичність, оскільки через них проходять комунікації плазмообразуючого газу і охолодження.

Технологічні варіанти плазмового зміцнення деталей

Є такі варіанти плазмового поверхневого зміцнення:

- зміцнення без оплавлення поверхні деталі;
- зміцнення з оплавленням поверхні деталі;
- зміцнення з зазором між зміцненими зернами;
- зміцнення з перекриттям зміцнених зон;
- хіміко-термічна плазмова обробка;
- плазмове зміцнення в поєднанні з іншими способами об'ємної або поверхневої термічної обробки.

Плазмове зміцнення без оплавлення поверхні є найбільш поширеним для сталевих деталей, так як забезпечує збереження якості (величини шорсткості), досягнутого попередньої механічною обробкою.

Зміцнення з оплавленням поверхні сталевих і чавунних деталей застосовується, коли необхідно отримати особливі експлуатаційні властивості. Наприклад, обробка валків чорнової групи клітей станів гарячої прокатки, до шорсткості робочої поверхні яких не пред'являються високі вимоги. При обробці чавунних деталей на поверхні утворюється окремий шар з високою зносостійкістю.

Плазмове зміцнення поверхонь деталей без перекриття зон обробки призводить до отримання рівномірної твердості на поверхні, а з перекриттям зон обробки - до появи нерівномірного твердості через утворення зон відпустки в місцях перекриття.

Можливість реалізації хіміко-термічної обробки при плазмовій обробці визначається родом газу, використовуваного в якості плазмообразуючого, наприклад азотування. Тут в якості

плазмообразуючого газу застосовується суміш аргону з азотом.

Можливе застосування технології комплексного зміцнення, що включає попередню або наступну об'ємну термічну обробку і плазмове зміцнення; загартування в ТВЧ і плазмову обробку.

Вакуумне іонно-плазмове зміцнення,
іонну магнетронного розпилення, іонне легування
Вакуумне іонно-плазмове зміцнення

Серед методів нанесення захисних покриттів, заснованих на впливі на поверхню деталі потоків частинок і квантів з високою енергією, велика увага приділяється вакуумним іонно-плазмовим методам. Характерною їх рисою є пряме перетворення електричної енергії в енергію технологічного впливу, засноване на структурно-фазові перетворення в обложеному на поверхні конденсаті або в самому поверхневому шарі деталі, вміщеній в вакуумну камеру.

Основною перевагою даних методів є можливість створення досить високого рівня фізико-механічних властивостей матеріалів в тонких поверхневих шарах, нанесення щільних покриттів з тугоплавких хімічних сполук, а також алмазоподібних, які неможливо отримати традиційними методами. Крім того, ці методи дозволяють:

- забезпечувати високу адгезію покриття до підкладки;
- отримувати рівномірні покриття по товщині на великій площі;
- варіювати склад покриття в широкому діапазоні, в межах одного технологічного циклу;
- отримати високу чистоту поверхні покриття;
- забезпечувати екологічну чистоту виробничого циклу.

Методи вакуумної іонно-плазмової технології:

1) Зміна поверхневих шарів:

- іонно-дифузійне насичення; (Іонну Азотування, коксування, борирование і ін.);
- іонну (полум'яне) травлення (очищення);
- Іонна імплантація (впровадження);
- отжиг в тліючому розряді;

2) Нанесення покриттів:

- полімеризація в тліючому розряді;
- іонну осадження (в тріодної розпилювальної системі, диодної розпилювальної системі, з використанням розряду в підлогою катоді);
- електродугове випаровування;
- іонно-кластерний метод;
- катодного розпилення (на постійному струмі, високочастотне);
- хімічне осадження в плазмі тліючого розряду.

Сучасні вакуумні іонно-плазмові методи зміцнення

(Модифікування) поверхонь деталей машин включають наступні етапи:

- генерацію (освіта) корпускулярного потоку речовини;
- активізацію, прискорення і фокусування;
- конденсацію і впровадження в поверхню деталей (підкладок).

Генерація: корпускулярного потоку речовини можлива його випаровуванням

(Сублимацією) і розпиленням.

Випаровування: перехід конденсованої фази в пар здійснюється в результаті підводок теплової енергії до випаровуються речовин.

Тверді речовини зазвичай при нагріванні розплавляються, а потім переходять в газоподібний стан. Деякі речовини переходять в газоподібний стан, минаючи рідку фазу. Такий процес називається сублимацією.

Нагрівання матеріалу, який випаровується речовини може здійснюватися:

- за рахунок виділення джоулевого тепла при проходженні електричного струму через випаровується матеріал або через випарник;
- в результаті бомбардування поверхні металу прискореним потоком електронів (електронно-променевої нагрів) або квантами електромагнітного випромінювання (лазерний нагрів);
- високочастотним електричним магнітним полем (індукційний нагрів);
- електричною дугою.

Вибір способу нагріву і конструкція установки залежать від природи матеріалу, який випаровується, його вихідної форми (гранули, порошок, дріт), необхідної швидкості випаровування, сталості в часі і т.д.

Найбільшого поширення набув нагрів за допомогою електронного бомбардування, що дозволяє досягати температури 4000оС і щільності енергії в промені до $5 * 10 \text{ Вт / см}$.

Електронно-променевої спосіб нагріву полягає в тому, що на зразок металу направляють потік електронів від катода, прискорених електричним полем до енергії 5-25 кеВ. Потік електронів (електронний промінь) отримують за допомогою електронно-променевих гармат.

Середня енергія частинок в потоці, утвореному випаровуванням, невисока, тому необхідно збільшити енергію частинок, що прибувають на підкладку. Простим способом прискорення заряджених частинок є електричне поле, але так як для створення потоків в основному використовуються нейтральні частинки, їх активацію можна здійснювати дією на атоми потоком електронів, іонів, атомів або фотонів.

В результаті утворення активованого корпускулярного потоку в контакт з підкладкою металу деталі, входять нейтральні частинки (порушені і незбуджені) з високою енергією і іони. Процес взаємодії такого складного за складом потоку з поверхнею металу зводиться до протікання взаємопов'язаних фізичних явищ: конденсація, впровадження і розпорошення.

іонну розпилення

Іонні розпилювачі поділяють на дві групи:

- плазмоіонні розпилювачі, в яких мішень знаходиться в газорозрядної плазмі, що створюється за допомогою тліючого, дугового і високочастотного розряду. Розпилення відбувається в результаті бомбардування мішені іонами, вилучаються з плазми;
- автономні джерела без фокусування і з фокусуванням іонних пучків, бомбардують мішень.

У найбільш простому випадку система розпилення складається з двох електродів, поміщених в вакуумну камеру (рис. 4.1)

Розпилюються мішені з матеріалу, що наноситься розташовують на катоді. На іншому електроді, на відстані в кілька сантиметрів від катода, встановлюють деталі (підкладки).

Камеру вакуумують, а потім наповнюють робочим газом (найчастіше аргоном) до тиску 1,33 Па. На електрод з підкладки подають негативний потенціал, запалюють газорозрядну плазму і бомбардуванням іонами проводять очищення їх від поверхневих забруднень. Далі негативний потенціал прикладають до мішені і розпилюють її. Розпорошуються частки рухаються через плазму розряду, осідають на деталях і утворюють покриття. Велика частина енергії іонів, що бомбардують мішені (до 25%), переходить в тепло, яке відводиться водою, що охолоджує катод.

Переваги: можливість отримання покриттів з тугоплавких металів, сплавів і хімічних сполук.

магнетронного розпилення

Нанесення покриттів у вакуумі за допомогою магнетронних систем полягає в розпиленні твердої мішені напилюваного матеріалу іонами інертного газу, що утворюються в плазмі аномального тліючого розряду при накладенні на нього магнітного поля, силові лінії якого ортогонально перетинають силові лінії магнітного поля.

Основними елементами магнетрона є катод - мішені, анод і магнітна система. Силові лінії магнітного поля замикаються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, розташована між системами входу і виходу силових ліній магнітного поля, інтенсивно розпорошується і має вигляд замкнутої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи. При подачі постійної напруги між мішенню (негативний потенціал) і анодом (позитивний потенціал) виникає неоднорідне електричне поле і збуджується тліючий розряд.

Наявність замкнутого магнітного поля на розпилюється поверхні мішені дозволяє локалізувати плазму розряду безпосередньо у мішені. Емітовані з катода під дією іонного бомбардування електрони захоплюються магнітним полем, і їм повідомляється складне циклоїдальних рух по замкнутих траєкторіях у поверхонь мішені.

Електрони опиняються як би в пастці, створюваної з одного боку магнітним полем, що повертає їх на катод, а з іншого боку - поверхнею мішені, їх відразливою. Електрон циркулює в цій пастці до тих пір, поки не відбудеться кілька іонізуючих зіткнень з атомами робочого газу, в результаті яких він втратить отриману від електричного поля енергію. Таким чином, більша частина енергії електрона, перш ніж він потрапляє на анод, використовується на іонізацію і збудження, що значно збільшує ефективність процесу іонізації і призводить до зростання концентрації позитивних іонів біля поверхні мішені. Це, в свою чергу, призводить до збільшення інтенсивності іонного бомбардування мішені і значного зростання швидкості осадження покриття.

Іонну осадження покриттів

До покриттям іонного осадження відносять методи, в яких осідає плівка піддається інтенсивному впливу іонного компонента корпускулярного потоку, що забезпечує зміни в структурі і властивостях як перехідної зони, так і самого покриття. Такий результат можливий або при високому ступені іонізації корпускулярного потоку (газоподібного або металевого) осаждяемого речовини, або при високій енергії іонного компонента корпускулярного потоку.

За типом джерела генерації металевого компонента потоку розрізняють іонно-термічні системи розпилення і холодні системи. У перших системах переклад переноситься матеріалу з твердого в пароподібний стан здійснюється в результаті термічного нагріву, по-друге - розпиленням з поверхні інтегрально - холодної мішені (катода).

Ці методи дозволяють отримувати покриття з високими службовими характеристиками кристалізації плівок і їх властивостями. У машинобудуванні вони знайшли застосування для отримання зносостійких і корозійно - стійких покриттів як з чистих металів, так і з з'єднань.

Недолік: низький відсоток іонізованих частинок в загальному потоці, який випаровується, що впливає на адгезійні властивості характеристики покриття і умови протікання реакції з реактивним газом.

Іонно-дифузійне насичення

Система іонного насичення є вакуумну камеру, в електричному плані реалізовує двухелектродную схему: катод-електрод з деталями; другий електрод (анод) - заземлений корпус вакуумної камери. Для проведення процесу іонами насичення в вакуумну камеру подається легуючий матеріал (елемент або хімічна сполука) в газоподібному (пароподібному) стані, а до деталей прикладається негативний потенціал 300 +1000 В. Поверхня деталі бомбардується позитивними іонами легуючого елемента з газорозрядної плазми, що дозволяє значно скоротити тривалість процесу насичення поверхні.

Цей метод найбільш широко застосовується при азотуванні сталей і металів.

Переваги перед печами звичайного газового азотування:

- скорочення тривалості циклу в 3-5 разів;
- зменшення деформації деталей в 3-5 разів;
- можливість проведення регульованих процесів азотування з одержанням шарів із заданим складом і структурою;
- можливість зменшення температури процесу азотування до 350-4000С, що дозволяє уникнути разупрочнення матеріалу серцевини виробів;
- зменшення крихкості шару і підвищення його службових характеристик;
- простота захисту окремих ділянок деталей від азотування;
- усунення небезпеки вибуху печі;
- зниження питомих витрат електричної енергії в 1,5-2 рази і робочого газу в 30-50 разів;
- поліпшення умов праці термістів.

недоліки:

- неможливість прискорення процесу шляхом збільшення щільності іонного потоку, тому що в результаті перегріву деталей зменшити нагрівання поверхні твердість;
- інтенсифікація процесу іонного азотування;
- накладення магнітного поля з метою збільшення щільності струму і зниження тиску газу;
- за рахунок створення поверхні деталі заданої конфігурації відбувається попереднє пластичне деформування, термічна обробка.

Іонне легування (імплантація)

При імплантації тонкий поверхневий шар насичується елементом, потоком іонів якого поверхня обробляється (бомбардується). Імплантований елемент може входити в кристалічну решітку основи у вигляді твердого тіла або утворювати мелкокристаллические виділення хімічних сполук з компонентами матеріалу основи. Крім того, при впровадженні іона в кристалічну решітку ініціюється зміщення атомів, що призводять до утворення великої кількості дефектів кристалічної решітки. Товщина цього шару, насиченого дефектами і внаслідок цього зміцненого, у багато разів перевищує глибину проникнення іонів. Товщина модифікованого шару кілька мікрон.

Імплантація істотно знижує знос і тертя, збільшує антикорозійні властивості металу.

Магнітне зміцнення деталей машин

Електромагнітне поле успішно застосовують в сучасній техніці і технології для управління властивостями тіла і рідини. У Росії і передових країнах світу магнітну обробку використовують для поліпшення властивостей конструкційних матеріалів, води, розчинів, дисперсних систем, гуми, ріжучого і вимірювального інструмента, зубчастих коліс, тросів, заклепок, станин, бурів і т.п.

Впровадження магнітної обробки дозволяє зменшити залишкові і втомних напруги в деталях і конструкціях, підвищити зносостійкість і довговічність різних деталей.

Методи магнітної обробки

Застосовувані на практиці методи магнітної обробки матеріалів розрізняються за своїми фізичними методами і технології виробництва.

Методи магнітної обробки:

- одним імпульсом постійного магнітного поля напруженістю $100 + 1000 \text{кА} / \text{М}$ при різній тривалості впливу: $10 + 300 \text{с}$ і більш;
- імпульсним магнітним полем напруженістю $50 + 2000 \text{кА} / \text{М}$ при тривалості імпульсу $0,1 + 10 \text{с}$ і з різною кількістю імпульсів.

Методи обробки постійним магнітним полем:

- обробка одним імпульсом з подальшим розмагнічуванням через $8 + 24$ години;
- обробка спрямованої (локальної) концентрацією магнітного потоку на заготовку;
- обробка без подальшого розмагнічування;

- динамічна обробка, коли деталь в поле постійної напруженості обертається з деяким прискоренням частоти обертання $(1 + 50c)$ протягом $1 + 5$ секунд;

- обробка при вільному переміщенні заготовки в порожнині індуктора;
- обробка деталі при вільному переміщенні в безпосередній близькості від порожнини індуктора.

Методи імпульсної магнітної обробки:

- обробка без подальшого розмагнічування;
- багатocyклових обробка $(2 + 10)$ циклів) з витримкою між циклами $1 + 20$ хвилин;

- обробка із застосуванням феромагнітних сердечників і локальних концентраторів магнітного поля;

- обробка в металевих контейнерах або камерах із застосуванням феромагнітної рідини або феромагнітного порошку;

- комбіновані методи.

Перспективні методи імпульсної магнітної обробки:

- обробка з наростаючою амплітудою імпульсу. Застосовують для зняття напружень у виробах, що працюють при ударних навантаженнях. Режим: $H = 100 + 800 \text{кА} / \text{М}$, час циклу обробки $0,1 + 1,0 \text{С}$, число циклів $2 + 10$, час витримування між циклами $1 + 20$ хвилин.

- з обертанням деталі в соленоїдах. Застосовують для зняття напружень в місцях зварювання різнорідних матеріалів. Режим: $H = 100 + 800 \text{кА} / \text{М}$, число циклів $2 + 10$, час витримування $1 + 20$ хвилин, частота обертання деталі в соленоїді $1000 + 10000 \text{ хв}^{-1}$ протягом $1-5 \text{ хв}$;

- обертовим магнітним полем. Застосовують для підвищення довговічності готових виробів. Режими: $H = 100 + 800 \text{кА} / \text{М}$, час циклу $0,1 + 1,0 \text{С}$, число циклів $2 + 10$;

- обробка холодом і імпульсної магнітної обробкою. Застосовують для зміцнення відповідальних деталей, що працюють при низьких температурах. Режим: обробка в контейнерах при $-100 + 200 \text{ }^\circ \text{С}$, $H = 400 + 2000 \text{кА} / \text{М}$, час циклу $0,3 + 2 \text{с}$, число циклів $1 + 10$, час між імпульсами $30 + 3000 \text{С}$. Розмагнічування.

- імпульсна магнітна обробка у вакуумі із застосуванням захисних покриттів. Застосовують для зміцнення деталей, що працюють в вакуумі: $H = 400 + 2000 \text{кА} / \text{М}$, час циклу $0,3 + 2,0 \text{с}$, число циклів $1 + 10$, час між імпульсами $30 + 3000 \text{с}$.

- термічна обробка металів в магнітному полі.

Зміцнення деталей наплавленням

Застосування наплавлення робочих поверхонь дозволяє підвищити їх довговічність і зносостійкість шляхом нанесення металу відповідного хімічного складу і фізико-механічних властивостей.

Сутність процесу наплавлення полягає в тому, що з джерел нагріву присадний метал розплавляється і переноситься на наплавляється поверхню. При цьому розплавляється метал поверхневого шару основного металу і разом з

розплавленим присадним металом утворює шар наплавленого металу.

Одним з важливих параметрів процесу наплавлення є глибинапропавлення основного металу: чим менше глибинапропавлення, тим менше основного металу в наплавленому. Хімічний склад наплавленого металу буде ближче до присадних. Зазвичай хімічний склад присадочного металу і металу наплавлення вирівнюється в другому - третьому шарі.

На глибині пропавлення розташовується перехідна зона від основного металу до наплавленого. Ця зона вважається найбільш небезпечною, з точки зору руйнування металу. Метал перехідної зони охрупчен через великій швидкості охолодження металу шва, має підвищену схильність до утворення холодних тріщин через велику неоднорідності хімічного складу металу і відповідно великий різниці коефіцієнтів лінійного розширення. Звідси випливає, що чим більше глибинапропавлення, тим більше зона ослабленого ділянки і тим нижче міцність деталі. І навпаки, чим менше глибинапропавлення, тим в меншій мірі втрачається міцність деталі. Метал наплавлення за хімічним складом наближається до присадних, при цьому відпадає необхідність в накладенні другого шару.

Виходячи з викладеного, вибір обладнання для наплавлення, режимів і технології повинен проводитися з умови забезпечення мінімальної глибини пропавлення основного металу.

При товщині наплавленого шару більше 5 мм наплавку бажано вести в два шари для зменшення глибини пропавлення.

Вибір режимів наплавлення залежить від товщини наплавленого шару.

Вибір наплавлювальних матеріалів проводиться виходячи з вимог, що пред'являються до металу, що труться в залежності від виду зношування. Наприклад, для умов абразивного зношування потрібна висока твердість наплавленого металу, яка забезпечується використанням наплавлювальних матеріалів з підвищеним вмістом вуглецю, хрому, марганцю, вольфраму.

Для умов корозійного зношування стійкість досягається легуванням металу хромом у кількості більше 12% (нержавіючі сталі).

Виконання наплавних робіт здійснюється різними способами, основними з яких є ручна дугова наплавка, автоматична дугова наплавка під флюсом, наплавка в середовищі вуглекислого газу, вибродугова, плазмова і газова наплавка.

Ручна дугова наплавка застосовується при індивідуальному способі виконання ремонтних робіт.

Для відновлення деталей типу валів, що працюють при нормальних умовах, рекомендують електроди ОЗН 400, що забезпечують твердість НВ 375 - 425 без термічної обробки.

Наплавлення деталей, що працюють при корозійному зношуванні, виконується електродами ЦН-6М, хімічний склад наплавленого металу О8Х17Н8С6Г або ЦН-5 (24x12).

Для деталей, що працюють в умовах абразивного зносу, рекомендуються електроди Т-590 (Е-320Х25 С3ГР).

Для наплавлення можуть застосовуватися і зварювальні електроди, але механічні властивості наплавленого металу низькі.

Автоматична наплавка під флюсом рекомендується при великому обсязі ремонтних робіт.

Сутність процесу наплавлення полягає в тому, що дуга горить під шаром флюсу. Під дією тепла дуги розплавляються електродний дріт, основний метал і частина флюсу. Розплавлений метал електрода переноситься на основний, утворюючи шар наплавленого флюсу, який надійно захищає рідкий метал від контакту з повітрям.

Наплавлення в середовищі вуглекислого газу досить широко застосовується для відновлення розмірів зношених деталей.

Сутність процесу полягає в тому, що зварювальна дуга горить в середовищі вуглекислого газу, який оберігає розплавлений метал від контакту з повітрям.

вібродугова наплавлення

Суть методу вібродугової наплавлення полягає в тому, що електродної дроті при русі в зону дуги надаються додаткові поздовжні коливання великої частоти. Такі коливання забезпечують більш високу стабільність горіння дуги і дозволяють значно знизити параметри режиму наплавлення (силу зварного струму і напруга) в порівнянні з наплавленням в середовищі вуглекислого газу. На цьому принципі розроблені багато конструкцій наплавлювальних автоматів.

плазмова наплавка

Сутність плазмового наплавлення полягає в расплавленні присадочного металу струменем плазми і перенесення його на основний метал. Плазма являє собою спрямований потік іонізованих частинок газу, що мають температуру (10-30) 10³ оС. Отримують плазму в спеціальних пристроях - плазмотронах при пропусканні газу через стовп електричної дуги.

Для здійснення процесу наплавлення електродний дріт подають в зону плазмової дуги, метал електрода плавиться і переноситься на деталь.

Для припинення процесу наплавлення плазмотрон відривають від деталі, основна дуга гасне, але продовжує горіти чергова дуга.

Як наплавленого матеріалу можуть використовуватися не тільки порошки металів, але і неметалів (керамічний порошок). Це дозволяє нанести кераміку на метали.

Газова наплавлення деталей

Газова наплавлення застосовується порівняно рідко, в основному при індивідуальному способі виконання ремонтних робіт, через труднощі механізації процесу.

Плавлення металу здійснюється газовим полум'ям, що утворюється при згорянні кисню в середовищі ацетилену. Температура полум'я в зоні ядра становить 3100 - 3200оС.

Захист розплавленого металу від окислення здійснюється самим газовим полум'ям і флюсами. Як флюс використовують буру або суміш борної кислоти.

В якості присадочного металу при газовій наплавленні використовують

прутки того ж складу, що й основний метал.

Режим наплавлення визначається потужністю газового пальника, тобто витратою ацетилену. Потужність залежить від товщини наплавляемого шару.

Газова наплавлення найчастіше застосовується для заплавлених дефектів на корпусних деталях.

При наплавленні на чавунні вироби в якості наплавлювальних матеріалів використовують чавунні прутки приблизно того ж складу. Процес виконується науглероженного полум'ям, тобто з великою витратою ацетилену.

При наплавленні металу на алюмінієві вироби присадним матеріалом служать алюмінієві прутки.

Хіміко-термічна обробка
загальні закономірності

Хіміко-термічною обробкою називають обробку, яка полягає в поєднанні термічного та хімічного впливу з метою зміни складу, структури і властивостей поверхневого шару деталі в необхідному напрямку. При цьому відбувається поверхневе насичення металевого матеріалу відповідним елементом (С, N, В, Al, Cr, Si, Ti і ін.) Шляхом його дифузії в атомарному стані із зовнішнього середовища (твердою, газовою, паровий, рідкої) при високій температурі.

Широке застосування хіміко-термічної обробки в різних областях техніки пояснюється тим, що більшість деталей машин і механізмів працюють в умовах зносу, кавітації, циклічних навантажень, корозії при криогенних або високих температурах, при яких максимальні напруження виникають в поверхневих шарах металу. Хіміко-термічна обробка металів та їх сплавів як з метою їх поверхневого зміцнення, так і для захисту від корозії підвищує надійність і довговічність деталей машин.

Хіміко-термічна обробка включає наступні основні взаємопов'язані стадії:

- 1) утворення активних атомів в насичує середовищі і дифузії їх до поверхні оброблюваного металу;
- 2) адсорбцію утворилися активних атомів поверхнею насичення;
- 3) дифузії - переміщення адсорбційних атомів всередині металу.

Розвиток процесу дифузії призводить до утворення дифузійного шару, під яким розуміють шар матеріалу деталі у поверхні насичення, що відрізняється від вихідного матеріалу по хімічному складу, структури та властивостей. Матеріал деталі під дифузійним шаром, не порушене впливом насичує активного середовища, називається серцевиною.

Найкоротша відстань від поверхні насичення до серцевини складає загальну товщину дифузійного шару. При контролі хіміко-термічної обробки користуються ефективною товщиною дифузійного шару, під якою розуміють найкоротша відстань від поверхні насичення до мірного ділянки, що характеризується встановленим граничним номінальним значенням базового параметра. Під базовим параметром дифузійного шару розуміють параметр матеріалу, що служить у даному випробуванні критерієм зміни якості в залежності від відстані від поверхні насичення. В якості базового параметра

приймають або концентрацію диффундируючого елемента, або властивості, або структурний ознака.

Прилеглу до серцевини внутрішню частину дифузійного шару, протяжність якої визначається різницею загальної та ефективної товщини, називають перехідною зоною дифузійного шару (рис.7.1).

Важливий етап хіміко-термічної обробки - дифузія. В металах при утворенні твердих розчинів заміщення в основному відбувається за вакансійних механізму. При утворенні твердих розчинів впровадження реалізується механізм дифузії по міжвузля.

Дифузійне насичення сплавів вуглецем і азотом

Дифузійне насичення стали вуглецем, азотом і спільно цими елементами - широко поширені в промисловості процеси хіміко-термічної обробки.

Цементациєю (науглероживанием) називається хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару стали вуглецем при нагріванні у відповідному середовищі - карбюризаторі. Цементацию проводять при температурах вище точки АСЗ (930 - 950оС), коли стійкий аустенит, що розчиняє вуглець у великих кількостях.

Дляцементациї використовують низьковуглецеві (0,1 - 0,18% С), частіше леговані стали (15Х, 18ХГТ, 20ХНМ, і ін.). Деталі надходять на цементацию після механічної обробки з припуском на шліфування (50 - 100 мкм). У багатьох випадках цементациї піддають тільки частина деталі: тоді ділянки, які не підлягають зміцнення, захищають тонким шаром малопористое міді (0,02 - 0,05 мм), яку наносять електролітичним способом, або ізолюють спеціальними обмазками.

Цементованний шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, спадаючу від поверхні до серцевини деталі (рис.7.2). У зв'язку з цим в структурі цементованного шару можна розрізнити (від поверхні до серцевини) три зони: заевтектоїдних, що складається з перліту і вторинного цементиту, що утворює сітку по колишньому зерну аустеніту; евтектоїдних, що складається з пластинчастого перліту; доевтектоїдної - з перліту і фериту. Кількість фериту в цій зоні невинно зростає.

При високій концентрації вуглецю (більше 1,2 - 1,3%) на поверхні шару утворюється груба сетка або цементит виділяється у вигляді голок, що негативно позначається на міцності дифузійного шару. Основні види цементациї - тверда і газова. Газова цементация є більш

досконалим технологічним процесом, ніж тверда. Вона має ряд переваг в порівнянні з цементациєю в твердому карбюризаторі. У разі газової цементациї можна отримати задану концентрацію вуглецю в шарі, скорочується тривалість процесу, забезпечується можливість повної механізації і автоматизації процесу, значно спрощується подальша термічна обробка деталей, так як загартування можна проводити

безпосередньо з цементационной печі. Основні види цементациї - тверда і газова. Газова цементация є більш досконалим технологічним процесом, ніж тверда. Вона має ряд переваг в порівнянні з цементациєю в твердому

карбюризаторі. У разі газової цементації можна отримати задану концентрацію вуглецю в шарі, скорочується тривалість процесу, забезпечується можливість повної механізації і автоматизації процесу, значно спрощується подальша термічна обробка деталей, так як загартування можна проводити

безпосередньо з цементационної печі.

Вона має ряд переваг в порівнянні з цементацією в твердому карбюризаторі. У разі газової цементації можна отримати задану концентрацію вуглецю в шарі, скорочується тривалість процесу, забезпечується можливість повної механізації і автоматизації процесу, значно спрощується подальша термічна обробка деталей, так як загартування можна проводити безпосередньо з цементационної печі (процес ведуть при 910 - 930оС 6 - 12 ч).

Остаточні властивості цементованного виробу набувають в результаті термічної обробки після цементації. Ця обробка необхідна для того, щоб виправити структуру і подрібнити зерно серцевини і цементованного шару, неминуче збільшується під час тривалої витримки при високій температурі цементації, отримати високу твердість в цементованном шарі і хороші механічні властивості серцевини.

У більшості випадків, особливо при обробці спадково дрібнозернистих сталей, застосовують загартування вище точки Ас (серцевини) при 820 - 850оС. Це забезпечує подрібнення зерна, повну загартування цементованного шару, часткову перекристалізацію і подрібнення зерна серцевини.

При газовій цементації часто застосовують загартування без повторного нагріву, а безпосередньо з цементационної печі після подстуживання виробів до 840 - 860оС. Така обробка не виправляє структуру цементованного шару і серцевини, тому її застосовують лише для виробів, виготовлених з спадково дрібнозернистих сталей.

Після цементації термічна обробка іноді складається з подвійної гарту і відпустки. Першу загартування (або нормалізацію) з нагріванням до 880 - 900оС (вище точки АС3 серцевини) призначають для виправлення структури серцевини. Другу загартування проводять з нагріванням до 760 - 780оС для усунення перегріву цементованного шару і надання йому високої твердості. Недолік такої термообробки - складність технологічного процесу, можливість окислення і зневуглецювання.

Заключною операцією термічної обробки цементованих виробів є низький відпустку при 160 - 180оС, що переводить мартенсит гарту в поверхневого шару у відпущений мартенсит, що знімає напруження і поліпшує механічні властивості.

В результаті термічної обробки цементованний шар повинен мати структуру мелкоїгольчатого мартенситу і ізольованих ділянок залишкової кількості надлишкових карбідів у вигляді глобул.

Твердість на поверхні цементованного шару знаходиться в межах HRC ~ 58 - 62 і в серцевині HRC ~ 30 - 45. При цементації частіше контролюють не загальну, а ефективну товщину шару. Ефективна товщина відповідає зоні шару від поверхні насичення до межі зони з твердістю HRC ~ 50 або НУ-550.

Товщина ефективного шару становить 0,4 - 1,8 мм.

Азотування називається хіміко-термічна обробка,

яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару стали азотом при нагріванні у відповідному середовищі. Азотуванню піддають гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання, деталі арматури турбін і цілий ряд інших деталей, що працюють на знос при підвищених температурах в агресивних середовищах. Твердість азотированного шару стали вище, ніж цементованного, і зберігається при нагріванні до високих температур (450 - 500°C), тоді як твердість цементованного шару, що має мартенситну структуру, зберігається тільки до 200 - 225°C.

Азотування частіше проводять при 500-600°C (низькотемпературне азотування). Стали ферритного і аустенітного класів і тугоплавкі метали (Ti, Mo і ін.) Піддають високотемпературній азотуванню (600 - 1200°C). Найбільш поширене газове азотування. Його зазвичай проводять в герметичних камерах (ретортах), куди надходить з певною швидкістю аміак. Для зниження крихкості і економії аміаку рекомендується азотування в аміаку, розбавленому азотом. Вирізняється атомарний азот адсорбується поверхнею металу і дифундує в його кристалічну решітку, утворюючи різні азотисті фази. У сплавах заліза з азотом утворюються такі фази: а-фаза - твердий розчин азоту в а-залізі; у-фаза - азотистий аустеніт, який утворюється при температурі вище евтектоїдної (591°C); у / фаза - твердий розчин на основі нітриду заліза Fe₄N (5,7 - 6,1% N); s-фаза - твердий розчин на основі нітриду Fe₂₋₃N (8,0- 11,% N).

Отже, в разі азотування при температурі нижче евтектоїдної дифузний шар складається з трьох шарів: s + у / + а. Носієм твердості є нижній а-шар (внаслідок виділення дисперсних нітридів); у / - шар дуже тонкий, часто навіть не виявляється, а s - шар неміцний і крихкий.

У разі азотування при температурі вище евтектоїдної, наприклад 650°C, шар при цій температурі складається з наступних фаз: s + у / + у + а. При повільному охолодженні азотований у-аустеніт розпадається на евтектоїд: у-- а + у /, а при швидкому охолодженні зазнає мартенситних перетворення. В цьому випадку максимальної твердості відповідає мартенситний подслої.

При азотуванні легованих сталей утворюються леговані s- і у / - фази. Легуючі елементи W, Mo, Cr, Ni, V, будучи розчинені в фериті, підвищують розчинність азоту в а-фазі і утворюють спеціальні нітриди MN, M₂N (VN, NiN, Cr₂N і ін.). Виділяючись в дрібнодисперсному стані, ці нітриди сприяють підвищенню твердості азотированного шару.

В останні роки набуло застосування азотування з добавками містять вуглець газів, яке проводять при 570°C протягом 1,5 - 3,0 год в атмосфері, що містить 50 об.% Ендогаз і 50 об. % Аміаку. В результаті такої обробки утворюється карбонітридним (Fe, M) 2-3 (N, C) зона товщиною 7-25 мкм, що володіє меншою крихкістю і більш високу зносостійкість, ніж чисто азотистая s-фаза (Fe, M) 2-3N. Твердість карбонітридним шару на легованих сталях HV 600 - 1100. Загальна товщина шару - 0,15 - 0,5 мм. Для активізації процесів в газовому середовищі і насичує поверхні застосовують іонну Азотування. При

цьому досягається істотне скорочення загального часу процесу (в 2 - 3 рази) і підвищення якості азотированного шару. Іонну Азотування здійснюють в сталевому контейнері, який є анодом. Катодом служать азотіруєміє деталі. Через контейнер при низькому тиску пропускається Азотомісткі газове середовище. Спочатку азотіруєміє поверхню очищається катодних розпиленням в розрідженому Азотомісткі газі або водні. При напрузі близько 1000В і тиску 13,33 - 26,33 Па іони газу бомбардують і очищають поверхню катода (деталі). Поверхня при цьому нагрівається до температури не більше 200оС. Потім встановлюється робочий режим: напруга 300 - 800 В, тиск 133,3 - 1333 Па, питома потужність 0,7 - 1 Вт / см². Поверхня деталі нагрівається до необхідної температури (450 - 500оС) в результаті бомбардування позитивними іонами газу. Іони азоту поглинаються поверхнею катода (деталі), а потім дифундують углиб. Паралельно з цим протікає процес катодного розпилення поверхні, що дозволяє проводити азотування трудноазотіруєміє сплавів, мимовільно покриваються захисною оксидною плівкою, яка перешкоджає проникненню азоту при звичайному азотуванні.

Поряд з іонним азотуванням застосовують іонну цементацію. При цементації і іонному азотуванні спостерігається прискорення дифузійних процесів, особливо в початковій стадії, і скорочується загальна тривалість насичення в порівнянні з традиційними способами цементації і азотування.

Одночасне насичення поверхні стали азотом і вуглецем

Численні дослідження показали, що в ряді випадків спільне дифузионе насичення стали азотом і вуглецем має певні переваги. Так, азот сприяє дифузії вуглецю, тому можна знизити температуру дифузійного насичення до 850оС. Такий процес називається нітроцементацией, так як вихідної середовищем є суміш цементуючого газу і аміаку. Тривалість процесу 4 - 10 год. Основне призначення нітроцементації - підвищення твердості і зносостійкості сталевих виробів.

У порівнянні з цементацією нітроцементация має ряд істотних переваг. При легуванні аустеніту азотом знижується температура а[^]у- перетворення, що дозволяє вести процес насичення при більш низьких температурах. Одночасно в присутності азоту різко зростає дифузійна рухливість вуглецю в аустеніт. швидкість зростання

нітроцементованного і цементованного шарів практично однакова, хоча температура нітроцементації майже на 100оС нижче. Зниження температури насичення без збільшення тривалості процесу дозволяє знизити деформації оброблюваних деталей, зменшити нагрів пічного

обладнання. Для газової цементації і нітроцементації застосовують практично однакове устаткування.

Для нітроцементації легованих сталей використовують контрольовану ендотермічну атмосферу, до якої додають 1,5 - 5,5 об. % Природного газу і 1,0 - 3,5 об. % Аміаку. Після нітроцементації слід гарт безпосередньо з печі, рідше - після повторного нагрівання. Після гарту проводять відпустку при 160 - 180оС.

За оптимальних умов насичення структура нітроцементованного шару

складається з мелкоігольчатого мартенситу, невеликої кількості дрібних рівномірно розподілених карбонитридов і 25 - 30% залишкового аустеніту.

Твердість шару після гарту і низького відступу - HRC ~ 58 -60, HV ~ 570 - 690. Товщина нітроцементованного шару становить 0,2 - 0,8 мм.

Нітроцементатії зазвичай піддають деталі складної форми, наприклад зубчасті колеса.

Одночасне насичення стали вуглецем і азотом відбувається також при ціанування в розплавлених солях, що містять ціанід натрію при 820 - 860о С. Однак токсичність розплаву солей є серйозним недоліком, що перешкоджає впровадженню цього процесу.

Рішенням проблеми можна вважати процес карбонітрації, розроблений в МВТУ ім. Н. Е. Баумана, (автори Д. А. Прокотячий, А. В. Супів і ін.). Для отримання активного розплаву використовується ціанат калію. При температурі нагріву і плавлення в атмосферних умовах відбувається окислення ціановокислого калію по реакції



Для інтенсифікації процесу карбонітрації застосовується продування повітрям. Тривалість витримки при температурі нагріву в розплаві складає від декількох хвилин до декількох годин. В результаті карбонітрації (температура розплаву 530 - 570оС, час витримки 530 хв) довговічність інструменту зі швидкорізальної сталі підвищується в 1,5 - 4 рази.

Дифузійне насичення сплавів металами та неметалами

Борирование - насичення поверхні металів і сплавів бором з метою підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості. Борирование піддають сталі перлітного, феритного і аустенітного класів, тугоплавкі метали і нікелеві сплави. При борировании заліза зміцнений шар складається з ромбического борида FeB і тетрагонального борида Fe₂B, що утворюють стовпчасті кристали. Під шаром боридів розташовується перехідний шар з твердого розчину бору в а-залізі. При нагріванні бориди стійкі: FeB - до 800оС, Fe₂B - до 1000оС. Встановлено, що вуглець сталей повністю витісняється із зони боридов вглиб і, в залежності від легуючих елементів в сталі, утворює перехідну зону. Хром і марганець при борировании дифундують в зону боридов, утворюючи (Fe, Mn, Cr) B і (Fe, Mn, Cr) ₂B, які за будовою аналогічні боридами FeB і Fe₂B. Кремній при борировании дифундує із зони боридов вглиб, збагачуючи зону а-фази, а при великій кількості кремнію в перехідній зоні можуть утворитися графіт і ферит. У цьому випадку буде спостерігатися сколювання боридних шару. Взагалі боридних шар крихкий. Найбільшою крихкістю володіє борид FeB (мікротвердість 2000 Н50) в порівнянні з Fe₂B (мікротвердість 1450 Н50). При борировании інструментальних сталей Р18, Р9, ХВГ мікротвердість досягає 2450 - 3435 Н50. Висока мікротвердість боридних шару зберігається до 700оС, що дозволяє застосовувати борирование для підвищення зносостійкості деталей, що працюють при високих температурах.

Борирование стали має високу корозійну стійкість у водних розчинах соляної, сірчаної та фосфорної кислот, причому при однаковій товщині шару однофазні боридних шари мають велику кислотність, ніж двофазні. В азотній кислоті боридних шари нестійкі, проте швидкість руйнування борованого сталей в 1,5 - 5 разів нижче, ніж неборированих. Борованої шари на вуглецевих сталях стійкі до впливу киплячих водних розчинів NaOH і KOH, а також розплавів цинку, свинцю, олова, кадмію.

Силіціювання. В результаті дифузійного насичення поверхні кремнієм (Силіціювання) підвищується корозійна стійкість, жаростійкість, твердість і зносостійкість металів і сплавів. При Силіціювання заліза і сталі на поверхні утворюється α -фаза (твердий розчин кремнію в α -залізі). Іноді дифузний шар складається з двох фазових шарів: на поверхні утворюється шар зміцненої α / - фази (Fe_3Si), а далі йде α -фаза. Якість силіцированого шару значно знижується через виникнення пористості. Безпористі шари кременистого фериту на сталі 20 при 1100 - 1200°C протягом 3 - 5 ч були отримані в суміші моносилана SiH_4 (6 - 10 л / год) з дисоційованому аміаком, або аргоном, або азотом (15 - 20 л / год). Найбільший інтерес представляє силіцирование легованих сталей, так як Cr, Al і Ti, потрапляючи в Силіційований шар, підвищують його окалиностойкість.

Хромування - насичення поверхні виробів хромом. Диффузионному хромуванню піддають чавуни, сталі різних класів, сплави на основі нікелю, молибдену, вольфраму, ніобію, кобальту і металокерамічні матеріали. Хромування виробляють в вакуумних камерах (10⁻¹⁰ - 10⁻¹ Па) при 1420°C. За 18-24 год отримують хромований шар товщиною 2,0 - 2,5 мм з концентрацією на поверхні до 70% хрому.

Цей процес забезпечує підвищену стійкість стали проти газової корозії (окалинностойкість) до 800°C. Хромування сталей, що містять понад 0,3 - 0,4% С, підвищує твердість і зносостійкість. Твердість шару, отриманого при хромування заліза, сягає HV 250 - 300, а при хромування сталі HV 1200 - 1300. Хромування використовують для зміцнення деталей паросилового обладнання, пароводяної арматури, клапанів, різних деталей, що працюють на знос в агресивних середовищах.

Алітування - процес дифузійного насичення поверхні виробів алюмінієм з метою підвищення жаростійкості, корозійної і ерозійної стійкості. При алітуванню заліза і сталей спостерігається плавне падіння концентрації алюмінію по товщині шару. Залежно від методу і режиму насичення вона може доходити до 58% (по масі) на поверхні і відповідати утворення фазового шару $FeAl_3$. В результаті алітірованія сталь набуває високої окалийності (до 850 - 900°C), так як в процесі нагрівання поверхні алітірованих виробів утворюється щільна плівка оксиду алюмінію (Al_2O_3), що оберігає метал від окислення. Алітірований шар має також хорошим опором корозії в атмосфері і морській воді. Товщина алітірованого шару досягає 0,2 - 1,0 мм, твердість (на поверхні) - до HV 500, зносостійкість низька. Алітуванню піддають різні вироби, що працюють при високих температурах.

Поверхнєве загартування стали

Призначення поверхневого гарту стали - підвищення твердості, зносостійкості і межі витривалості оброблюваних виробів. При цьому серцевина залишається в'язкою, і виріб сприймає ударні навантаження.

Найбільшого поширення набув метод поверхневого гарту при нагріванні струмами високої частоти (ТВЧ). При нагріванні ТВЧ використовується явище індукції і поверхневого розподілу індукваного струму в деталі. Деталь встановлюється в індуктор (соленоїд), що представляє один або кілька витків порожнистої водоохладжуваної мідної трубки. При пропусканні через індуктор змінного струму високої частоти створюється магнітне поле, що викликає появу в оброблюваному виробі індукваного струму тієї ж частоти, але зворотного напрямку. Індукований струм викликає розігрів виробу. Особливістю індуктивного струму є його неоднакова щільність по перетину виробу.

Чим менше f (частота струму), тим більше глибина нагрівається шару. Якщо застосовувати струм малої частоти (промисловий), то індукований струм буде текти по всьому перетину деталі і викликати наскрізний нагрів. Індукований нагрів забезпечує високі швидкості нагріву. Швидкість нагріву ТВЧ в залежності від f , r , ρ становить 50 - 500°C / с, а при звичайному пічному нагріванні вона не перевищує 1 - 3°C / с. Нагрівання до температури гарту здійснюється за 2 - 10 с. Глибина шару 2 - 5 мм. Великі швидкості нагріву призводять до того, що перетворення перліту в аустеніт зміщується в область більш високих температур, тому температура гарту при індукційному нагріванні вище, ніж при нагріванні в печах, де швидкість нагріву не перевищує 1,5 - 3°C / с. Чим більше швидкість нагріву в районі фазових перетворень, тим вище температура аустенізації і отримання при охолодженні нормальної структури (мелкокристаллического мартенситу) і максимальної твердості. Так, наприклад, при пічному нагріванні стали 40 температура гарту 840 - 860°C, при індукційному нагріванні зі швидкістю 250°C / с - 880 - 920°C, а зі швидкістю 500°C - 980 - 1020°C.

Охолоджуючу рідину (вода, водні розчини полімерів) для загартування зазвичай подають через Спрейер (душовий пристрій). Розрізняють такі способи загартування з індукційним нагріванням:

1) одночасний нагрів і охолодження всієї поверхні; цей метод застосовується для виробів, що мають невелику зміцнюючу поверхню (інструменти, валки, пальці);

2) у безперервний спосіб-послідовний нагрівання та охолодження; цей метод застосовують для загартування довгих валів, осей і т. д.;

3) послідовний нагрівання та охолодження окремих ділянок; даний метод використовують при загартуванні шийок колінчастих валів (Послідовний нагрів і гарт однієї шийки за одною), кулачків розподільних валів і т. Д.

Після гарту з індукційним нагріванням виробу піддають низькому відпустки при 160 - 200°C, нерідко і самоотпуску. В цьому випадку при загартуванні охолодження проводять не до кінця, і в деталі зберігається деяка

кількість теплоти, що нагріває загартований шар до температур відпуску.

Структура на поверхні - мартенсит відпустки, а в серцевині, якщо сталь попередньо термічно не оброблена, зберігається ферритно-перлітна структура. Для підвищення механічних характеристик стали перед загартуванням ТВЧ проводять поліпшення на зернистий сорбіт або нормалізацію.

Після гарту з індукційним нагріванням дійсне зерно аустеніту значно менше (10 - 12 балів), ніж при звичайній загартуванні з пічним нагрівом (7-8 балів). Дрібне зерно виходить внаслідок великої швидкості нагріву і відсутності витримки при нагріванні. При цьому утворюється мелкоігольчатий мартенсит з твердістю на 3 - 6 од. HRC вище, ніж при пічному нагріванні.

При поверхневому загартуванні значно підвищується межа витривалості стали. Так, для стали 40 після нормалізації він становить 150 МПа, а після гарту з індукційним нагріванням - 420 МПа. Підвищення межі витривалості пояснюється утворенням в загартованому шарі залишкових напружень стиску. Це особливо важливо для різних осей і валів, що працюють на вигин і кручення, у яких максимальні напруги розтягнення виникають в поверхневих шарах.

Лазерна термічна обробка

Лазерна технологія забезпечує підвищення продуктивності праці, точності і якості обробки, представляє практично безвідходну технологію, що задовольняє вимогам щодо захисту навколишнього середовища.

Лазери - оптичні квантові генератори (ОКГ), що дозволяють отримувати електромагнітні випромінювання надзвичайно високої концентрації енергії. Довжина хвиль, що генеруються ОКГ, знаходиться в світловому діапазоні від ультрафіолетової області спектра до інфрачервоної ($\lambda = 0,1 - 70$ мкм).

Застосування лазерів для термічної обробки засноване на трансформації світлової енергії в теплову. Висока концентрація енергії в світловому потоці ОКГ дозволяє нагріти поверхню до температурного діапазону термообробки за дуже короткий час.

Лазерна термічна обробка (ЛТО) проводиться при питомій потужності 103-5-104 Вт / см² і часу впливу на поверхню 10-1с.

Процеси лазерної термічної обробки визначаються взаємодією лазерного опромінення з матеріалом, який залежить від оптичних і теплофізичних властивостей оброблюваних матеріалів: коефіцієнта відбиття поверхні, теплопровідності, температур плавлення і випаровування і т.д.

Зниження відбивної здатності поверхні і, отже, підвищення ефективності ЛТО забезпечуються збільшенням шорсткості поверхні, нанесенням світлопоглощаючих покриттів. Збільшення поглинання випромінювання досягається шліфуванням поверхні, нанесенням неметалічних плівок (сульфідних (Fe₂S₃), оксидних, фосфатних Mg₃(PO₄)₂, Zn₃(PO₄)₂).

Для лазерної обробки використовують технологічні лазери імпульсної і безперервної дії. Особливістю лазерного зміцнення є його локальність. При імпульсному випромінюванні вплив здійснюється в точці, при безперервному - в смугі шириною до 3 мм. У зв'язку з цим для обробки поверхні необхідно і достатньо сканувати промінь з взаємним перекриттям або без перекриття зон

зміцнення.

Геометричні характеристики зони термічного впливу залежать від енергетичних параметрів лазерного випромінювання. При обробці імпульсними лазерами з підвищенням щільності потужності збільшуються діаметр і глибина зони зміцнення. Лазери безперервного випромінювання забезпечують більш високу продуктивність обробки, високу рівномірність зміцнення і дозволяють обробляти будь-який профіль поверхні зі швидкістю від 100 до 10000 мм / хв.

Глибина і ширина зони термічного впливу при постійній швидкості обробки безперервними лазерами залежать від щільності потужності випромінювання, з ростом якої збільшується глибина зони термічного впливу, а ширина зменшується. При постійній щільності потужності зі збільшенням швидкості переміщення деталей зменшуються як ширина, так і глибина зони термічного впливу, так як зменшується питома енергія випромінювання в зоні лазерного впливу.

Глибина зміцненого шару на CO₂-лазері складає від 0,3 до 0,1 мм, а на імпульсному лазері - 0,1-0,15 мм.

Механізм лазерної термічної обробки є фазове перетворення матеріалу після швидкісного нагріву до температур вище температур фазового перекристалізації з наступним швидким охолодженням обробленої зони. Швидкість охолодження при температурі нагріву нижче температури плавлення становить (5-10) · 10³ С / с, при кристалізації з рідкого шару - 10⁶ 0С / с.

Зміцнена зона може складатися з трьох або двох шарів. Між оплавленим шаром і таким його зоною термічного впливу існує чітка межа. Зона термічного впливу складається з білого і перехідного шарів. Білий шар являє собою світлу нетравящуюся смугу, так як має високу концентрацію азоту за рахунок високотемпературного насичення азотом повітря. Внаслідок високої швидкості охолодження ця зона має загартовану структуру, будова якої залежить від концентрації вуглецю. У загартованому шарі технічно чистого заліза відбувається подрібнення зерна фериту, а в окремих зернах утворюється пакетний мартенсит з розвиненою блоковою структурою, що має невисоку твердість. Другий шар зони термічного впливу є перехідним до вихідної структури.

Електронно-мікроскопічним аналізом встановлено підвищення щільності дислокацій в зоні термічного впливу. При щільності потужності 1,6-10 Вт / см² щільність дислокації досягає 10 см⁻², при щільності потужності 2,7-10 Вт / см² щільність дислокацій зростає до 10 см⁻².

Лазерна термічна обробка дозволяє підвищити твердість і зносостійкість зміцнюючих матеріалів. Твердість залежить від концентрації вуглецю і легуючих елементів в сталі. Методом лазерної термічної обробки добре зміцнюють середньо- і високолеговані вуглецеві і інструментальні сталі. Сталі з низьким вмістом вуглецю і високоміцні низьколеговані сталі при лазерної термічній обробці упрочнюються погано. Лазерна термічна обробка практично не впливає на межу міцності і межа плинності сталей.

Лазерна хіміко-термічна обробка

Насичення легируючими елементами відбувається шляхом дифузії і масопереносу в твердій фазі, з плазми і рідкій фазі.

При лазерної хіміко-термічній обробці на поверхню виробу попередньо наносять різними способами легуючі елементи:

- накатка фольги з легуючого матеріалу,
- електролітичне або хімічне осадження,
- напилення,
- Електроіскрове легування,
- нанесення порошків або обмазок.

Лазерна хіміко-термічна обробка здійснюється в режимі розплавлення.

Дифузійна металізація заліза можлива при легуванні різними металами. Підвищення твердості досягається тільки при розчиненні ванадію, ніобію, титану та вольфраму.

Висока зносостійкість і кавітаційна стійкість отримані при лазерному азотуванні з обмазок на сталі 38Х2МЮА і 15ХМФ.

При лазерному борированні зона термічного впливу має твердість залежно від режиму обробки НУ 1100-2100. При зміцненні досягається високий опір зношування при різних схемах прикладання навантаження і різних умовах тертя. Легування бором знижує коефіцієнт тертя матеріалу, підвищує його зносостійкість.

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей

Традиційним є підхід, який встановлює зв'язок режиму обробки з експлуатаційними властивостями зміцнюючих деталі. Недолік такого підходу в тому, що виявлені закономірності не є справедливими для інших умов. Тому при переході до нового виробу виникає необхідність в повторенні трудомістких досліджень.

Більш узагальненим є забезпечення довговічності деталі в дві стадії:

на першій встановлюється зв'язок технологічних чинників з параметрами стану поверхневого шару;

на другий - вплив цих параметрів на експлуатаційні характеристики деталей.

Однак обидва підходи мають основний недолік - емпіричний шлях вирішення завдання, а слідчо, пов'язані з цим:

- 1) велику трудомісткість експериментів;
- 2) обмежене число досліджень параметрів стану поверхневого шару;
- 3) невисоку точність (в межах точності методу вимірювання) їх визначення.

Емпіричний шлях не дозволяє використовувати ЕОМ для моделювання та технологічного проектування механічної обробки деталей з оптимізацією параметрів стану їх поверхневого шару, що забезпечують задану довговічність.

Більш ефективний підхід до технологічного забезпечення експлуатаційних показників деталей, який базується на внутрішніх закономірностях процесу формування поверхневого шару в осередку деформації (шляху 1-2 і 2-3). Розкриття таких закономірностей дозволить глибше визначити вплив

параметрів стану поверхневого шару на процес руйнування деталі (3-4) і експлуатаційні показники (4-5).

Підвищення опору деталі руйнування при різних видах експлуатаційного навантаження може бути досягнуто технологічними методами об'ємного або поверхневого зміцнення. Об'ємне зміцнення підвищує статичну міцність деталей, у яких робочі напруги розподілені по перетину більш-менш рівномірно. Для таких деталей використовують високоміцні сталі і сплави, композиційні матеріали. Однак більшість деталей працює в умовах, при яких експлуатаційне навантаження (тиск, нагрівання, дія навколишнього середовища і т.п.) сприймається головним чином їх поверхневим шаром. Тому зносостійкість, зародження і розвиток втомної тріщини, виникнення вогнищ корозії залежать від опору поверхневого шару руйнуванню. Для деталей, руйнування яких починається з поверхні, розроблено велику кількість методів поверхневого зміцнення, заснованих на нанесенні покриттів або зміні стану (модифікації) поверхні.

При нанесенні покриттів зміцнення деталей досягається шляхом осадження на її поверхні матеріалів, які за своїми властивостями відрізняються від основного металу, але найбільш повно відповідають умовам експлуатації (знос, корозія, хімічний вплив тощо).

При зміні стану (модифікації) поверхневого шару відбувається фізико-хімічне зношування в металі, підвищує його опір руйнуванню. Модифікування поверхневого шару може здійснюватися деформаційним зміцненням (ППД), поверхневої термообробкою, дифузійним нанесенням легуючих елементів.

Не існує універсального методу зміцнення деталей, тому що один і той же метод в одних умовах експлуатації може дати позитивний ефект, а в інших негативний. Тому в ряді випадків застосовують комбіноване зміцнення деталей, засноване на використанні двох або трьох методів зміцнення, кожен з яких дозволяє підсилити ту чи іншу експлуатаційну якість.

Крім того, вибір того чи іншого методу поверхневого зміцнення визначається економічними міркуваннями.

Класифікація методів обробно-зміцнюючої обробки деталей машин

Всі відомі методи зміцнення підрозділяються на 6 основних класів.

1. Зміцнення зі створенням плівки на поверхні:

а) осадження хімічною реакцією (оксидування, сульфидування, фосфатування, нанесення зміцнюючого мастильного матеріалу, осадження з газової фази);

б) осадження з парів (термічне випаровування тугоплавких сполук, катодно-іонна бомбардування, пряме електронно-променеве випаровування, реактивне електронно-променеве випаровування, електронно-хімічне випаровування);

в) електролітичне осадження (хромування, нікелювання, електрофорез, нікельфосфатірованіє, борирование, борохромірованіє, хромофосфатірованіє);

г) напилення зносостійких з'єднань (плазмового напилення порошкових

матеріалів, детонаційне напилення, електродугове напилення, лазерне напилення, вихровий напилення, індукційне Припекание порошкових матеріалів).

2. Зміцнення зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу:

а) дифузійне насичення (борирование, ціанування, азотування, нитроцементация і т.п.)

б) хімічне і фізико-хімічний вплив (хімічна обробка, іонна імплантація, електроіскровая обробка і т.д.).

3. Зміцнення зі зміною структури поверхневого шару:

а) фізико-термічна обробка (лазерна гарт, плазмова гарт);

б) електрофізичних обробка (електроконтактна, електроерозійна, магнітна обробка);

в) механічна обробка (зміцнення вібрацією, фрикційно-зміцнююча обробка, дробеструйна, обробка вибухом, термомеханическая, електромеханічна);

г) наплавка легованим елементом (газовим полум'ям, електричною дугою, плазмою, лазерним променем, пучком іонів і т.д.).

1. Зміцнення зі зміною енергетичного запасу поверхневого шару:

а) обробка в магнітному полі (термомагнітна обробка, імпульсним магнітним полем, магнітним полем);

б) обробка в електричному полі.

2. Зміцнення зі зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом:

а) обробка різанням (точіння, шліфування, надшвидкісне різання);

б) пластичне деформування (накочення, обкатування, розкочування, вигладжування, вібронакативаніє, вібровиглаживаніє, калібрування, відцентрово-ударне зміцнення, виброударной і т.д.);

в) комбіновані методи (анодно-механічна, поверхневе легування з вигладжуванням, різання з впливом ультразвукових коливань, магнітно-абразивна обробка і т.д.).

3. Зміцнення зі зміною структури всього обсягу металу:

а) термічна обробка при позитивних температурах (гарт, відпустка, поліпшення, загартування ТВЧ, нормалізація, термомагнітна обробка);

б) кріогенна обробка (гарт з обробкою холодом, термоціклірованіє).

нанотехнології

Механізм модифікування сталевих зразків

водними розчинами на основі силікату натрію

У Кам'янському інституті (філії) Південно-Російського державного університету С.І.Марченко розроблений метод хімічного модифікування поверхонь тертя для підвищення зносостійкості шестерінчастих насосів.

Це завдання вирішувалася за допомогою нанесення на механічні поверхні насоса наноплівки шляхом їх обробки сумішшю рідких вуглеводнів, наступним кип'ятінням цих деталей у водному мийно-модифікується розчині, що містить силікат натрію.

Під час кип'ятіння поверхні очищаються від забруднень, що представляють собою високомолекулярні фракції складових розчину. При цьому велика частина цих забруднень переходить в сполуки, що представляють собою тверді низькомолекулярні речовини, конгломерати, легко видаляються наступною механічною обробкою.

На цій стадії на поверхні деталей шестерінчастого насоса, в результаті хімічної взаємодії компонентів мийно-модифікуючий розчину зі сталлю, утворюються найтонші плівкові нанопокриття, що представляють собою стійкі до окислення сполуки, що забезпечують підвищення зносостійкості при корозійно-механічному зносі пар тертя насосів і перешкоджають налипанню технологічних забруднень в сполучених каналах насоса.

Наявність в мийно-модифікується розчині силікату натрію

зумовлює утворення на поверхнях насоса антифрикційного плівкового покриття, також підвищує зносостійкість пар тертя шестерінчастого насоса. Підвищення зносостійкості металевих пар тертя відбувається в зв'язку з ефективністю цього покриття в процесі підробітки, а також через підвищення мікротвердості поверхонь тертя в зв'язку з утворенням в них силіцидів і твердих розчинів кремнезему в окислах заліза.

Промислові випробування насосів, відновлених за допомогою цього способу, показали, що термін їх експлуатації склав від 75 до 112 діб проти 30-35 діб для нових насосів, що поставляються заводом виробником. Розроблений спосіб модифікування дозволяє обробляти насоси, які не перебували в експлуатації, тим самим збільшуючи термін служби цих виробів.