

ВПЛИВ ВОДНЮ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ФРИКЦІЙНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Показано, що підвищення метастабільності структури металу, збільшення вмісту вуглецю у сталі й легування нікелем, хромом, марганцем та іншими карбідоутворюючими елементами та використання водню, який виділяється з технологічного середовища при фрикційному обробленні, покращують умови утворення білих шарів.

Працездатність деталей машин залежить від стійкості металу при циклічному, ударному і контактному навантаженнях, зношуванню у різних умовах експлуатації. Усі ці види руйнування, як правило, починаються з поверхневого шару деталей. Тому поверхнєве оброблення виробів суттєво впливає на зародження і розповсюдження пошкоджень, а відповідно і на працездатність виробу в цілому. Зміцнення тонкого поверхневого шару деталі є прогресивним напрямком у технології машинобудування, який дозволяє економити дорогі леговані сталі та кольорові метали, підвищувати ресурс і надійність механізмів, машин.

З відомих методів поверхневого зміцнення металевих виробів найбільше зацікавлення мають сучасні прогресивні методи з використанням висококонцентрованих джерел енергії (лазерне, електронно-променеве, іонно-плазмове та інші оброблення). Сутність даних методів поверхневого зміцнення полягає у тому, що на відносно невеликі об'єми металу діють з великими швидкостями концентровані потоки енергії високої інтенсивності та наступним його швидким охолодженням. Такі умови оброблення дозволяють отримати специфічні фізико-механічні, електрохімічні, корозійні та експлуатаційні характеристики поверхневих шарів деталей машин та елементів конструкцій. До таких технологічних методів належить і фрикційне оброблення.

При фрикційному обробленні висококонцентрований потік енергії утворюється у зоні контакту швидкообертаючого зміцнювального інструмента-диска (60-70 м/с) та оброблюваної деталі. При цьому відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування. Швидкість нагрівання досягає 10^5 - 10^6 К/с. Поверхневі шари металу нагріваються до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}), охолодження відбувається з великими швидкостями (10^4 - 10^5 К/с) за рахунок відводу тепла вглибину металу. При високошвидкісному охолодженні фіксується стан, при якому із твердого розчину ще не встигають виділитися окремі фази або це виділення не встигло повністю завершитися. У поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар. Структура білого шару являє собою високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди [1].

На формування структурно-напруженого стану металу суттєво впливають режими фрикційного оброблення, використовуване технологічне середовище, матеріал та форма робочої частини зміцнювального інструмента та інші чинники. Метою роботи є визначення впливу складових технологічного середовища, а саме водню на формування зміцненого поверхневого шару при фрикційному обробленні.

Досліди показали, що при імпульсному фрикційному обробленні армо-заліза у його поверхневому шарі формується білий шар. Технологічне середовище, яке застосовується при цьому, суттєво впливає на процес формування зміцненого шару. Як відзначалось раніше [1], при застосуванні як технологічне середовище мінерального мастила в зоні контакту відбувається розкладання його на атомарний вуглець, який дифундує у поверхневі шари деталі і сприяє формуванню білого шару. При застосуванні як технологічне середовище води джерела дифузії вуглецю з технологічного середовища немає. Тим не менше білий шар формується, вуглець може дифундувати, на нашу думку, із поверхні зміцнювального інструмента. Мікротвердість

зразків з армко-заліза після фрикційного оброблення із застосуванням різних технологічних середовищ показала (рис. 1), що найбільше впливає на формування зміцнених структур застосовувана поверхнево-активна мастильно-охолоджувальна рідина МХО-64а. МХО-64а у своєму складі містить мінеральне мастило, а також компоненти, які під дією високих температур та тисків розкладаються, активують поверхню, зменшують поверхневу енергію та при цьому ще виділяється активний водень. Мікротвердість поблизу поверхні найбільша після зміцнення з використанням МХО-64а. Зі збільшенням глибини вона зменшується і при досягненні глибини 100 мкм зменшується до вихідної. При фрикційному зміцненні з використанням мінерального мастила мікротвердість зміцненого шару дещо менша й із глибиною різко зменшується до вихідного значення.

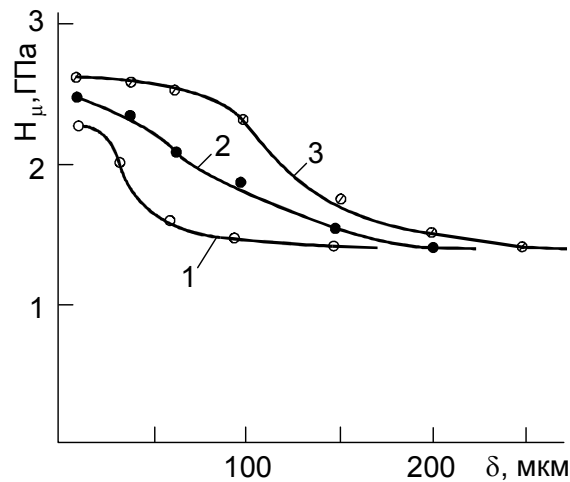


Рис. 1. Мікротвердість армко-заліза після фрикційного зміцнення з використанням різних технологічних середовищ: 1 - вода; 2 - мінеральне мастило; 3 - МХО-64а

При механічному обробленні металів з допомогою поверхнево-активних полімервмісних мастильно-охолоджувальних рідин у зоні різання протікають складні фізико-хімічні процеси, а саме [2]: адсорбція макромолекул полімеру на оброблюваній поверхні металу, їх термо- і механодеструкція; утворення макрорадикалів із наступною їх деполімеризацією, у результаті чого виділяється активні водень та вуглець; насичення інструменту та оброблюваної поверхні вуглецем; хемосорбція водню на ювенільних поверхнях; утворення хімічних зв'язків на різальних кромках інструменту.

У працях [3, 4], показано, що при гартуванні $Fe-H$ і $Fe-C-H$ сплавів при наявності водню понижується температура мартенситного перетворення в залізі та сталях, зменшується критична швидкість охолодження при гартуванні і стає можливим утворення мартенситу навіть у безвуглецевому залізі при звичайних швидкостях охолодження. Водень [5] приводить до пластифікування поверхневого шару металу, покращує умови протікання його пластичної деформації. При пластичній деформації металу водень транспортується рухомими дислокаціями до зеренних зародків субмікротріщин. Субмікротріщини утворюються у вершині нагромаджень дислокацій, які зупиняються границею зерна. Звільнений з дислокацій водень хемосорбується на поверхнях зародків субмікротріщин і зменшує їх поверхневу енергію [6].

При фрикційному обробленні з використанням як технологічного середовища поверхнево-активної мастильно-охолоджувальної рідини МХО-64а в зоні контакту інструмента та оброблюваної деталі проходять аналогічні процеси, як і при механічній обробці металу. Макромолекули та частинки полімеру, які входять у склад мастильно-охолоджувальної рідини, попадаючи в зону зміцнення, під дією високих температур та тисків деструктують по головних зв'язках і утворюють вільні радикали. Температурні межі деструкції полімерів нижчі, аніж рідких вуглеводнів, і рівні для полістиролу 570-610 К [7]. Фрагменти розірваних макромолекул утворюють на

ювенільних поверхнях зміцненого металу хімічні зв'язки (у першу чергу, із нікелем, марганцем, хромом та залізом). Особливістю деструкції полімерів є те, що при високих температурах проходить ланцюгова деполімеризація привитих фрагментів полімерів і утворюється сітка ненасичених вуглецевих зв'язків (аналогічно як у графіті). Технологічне середовище розкладається на іони вуглецю, водню, кисню, азоту, хлору та інших хімічних елементів, адсорбція їх на ювенільних поверхнях оброблюваної деталі та масоперенос у поверхневий шар металу. При цьому вони послаблюють міжатомну взаємодію, внаслідок зміни електронної структури металу, зменшують модуль пружності, тим самим полегшують протікання пластичної деформації. Відбувається пластифікування поверхневого шару, посилюються зсувні процеси, захоплюються великі об'єми металу. Те, що збільшення зсувної деформації, при інших рівних умовах, приводить до збільшення товщини зміцненого шару й пониження тангенціальної складової сили у зоні контакту інструменту і деталі P_z , яка затрачається, власне, на тертя, показали дослідження із застосуванням зміцнювального інструмента з нарізаними поперечними пазами на робочій поверхні. При вході в контакт країв паза у поверхневому шарі оброблюваної деталі виникають ударні зсувні деформації [8].

Для вивчення впливу водню на формування білого шару при фрикційному обробленні були наводнені зразки із загартованої і низьковідпущеної сталі У8А, а потім відразу фрикційно оброблені. Наводнювання зразків проводили у водяному розчині сірчаної кислоти (H_2SO_4) з концентрацією 300 г/л та інгібіторного композиту УРІ-1 із концентрацією 8 г/л. В інгібіторну композицію УРІ-1 входить інгібітор корозії сталі у сірчаній кислоті, синергист (добавка, яка підвищує захисний ефект інгібітора) та стабілізатор (добавка, яка запобігає розкладанню інгібітора при термоциклюванні робочого розчину кислоти). Температура електроліту становила 60 °С, час витримки зразків в електроліті – 0,2-3 год. Після витримки в електроліті зразки підлягали стабілізуєчому нагріванню у сушильній шафі при температурі 90 °С протягом 1 год.

Мас-спектральний аналіз показав наявність водню у поверхневому шарі наводнених зразків. Встановити перерозподіл водню по глибині шару металу є досить важко, тому було оцінено тільки загальну кількість водню у зразках.

Металографічні дослідження показали, що при фрикційному обробленні наводнених зразків із загартованої і низьковідпущеної сталі У8А товщина білого шару суттєво зростає і складає 290-320 мкм. При обробленні на таких самих режимах звичайних, не наводнених зразків товщина зміцненого шару складала лише 200-220 мкм (рис. 2). Зросла також і мікротвердість. Так, мікротвердість білого шару отриманого на наводнених зразках становила 10,3 ГПа проти 9,7 ГПа, на звичайних, не наводнених зразках.

Зі збільшенням часу витримки зразків у електроліті збільшується кількість водню, який продифундував у метал, та відповідно зростає товщина зміцненого шару після наступного фрикційного оброблення. Але при витримці в електроліті більше двох годин після фрикційного оброблення проходить руйнування поверхневого шару зразків по межі переходу знаку залишкових напружень. При цьому у зразках продифундованого водню було більше $[H]_{\text{диф}} > 0,07 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Отже, водень ефективний для фрикційного оброблення лише у невеликій кількості ($[H]_{\text{диф}} \leq 0,05 \text{ см}^3/100 \text{ г}$).

Водень, який знаходиться у поверхневому шарі металу, сприяє утворенню якісного, суцільного білого шару більшої товщини та твердості у порівнянні зі фрикційним обробленням звичайних, не наводнених зразків. Тому, для покращення ефективності фрикційного оброблення, досягнення зміцненого шару більшої товщини та твердості варто використовувати технологічні середовища, які в процесі роботи можуть розкладатися й виділяти активний водень.

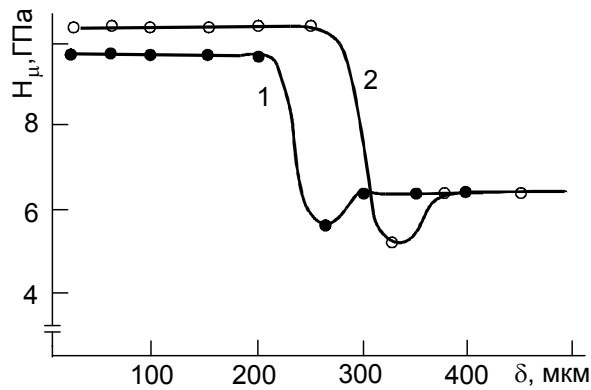


Рис. 2. Мікротвердість сталі У8А після фрикційного оброблення вихідних (1) та наводнених (2) зразків

Зі збільшенням кількості вуглецю у сталі якість зміцненого шару значно покращується. Найбільш якісний зміцнений шар був отриманий на евтектоїдній сталі У8А як у загартованому і низьковідпущеному, так і загартованому і високовідпущеному станах (рис. 3). Як показали металографічні дослідження зразків із загартованої і високовідпущеної сталі У8А після звичайного фрикційного оброблення, товщина зміцненого шару досягає 100-120 мкм. Утворений білий шар однорідний, мікротвердість його досягає 9,1 ГПа проти 3,6 ГПа вихідної структури. Гартування і низький відпуск збільшує товщину білого шару до 200-220 мкм. При імпульсному фрикційному обробленні (реалізується використанням інструмента-диска з перервною робочою частиною) ще суттєвіше підвищується як мікротвердість, так і товщина білого шару. Так, на сталі У8А у загартованому і низьковідпущеному стані після імпульсного фрикційного оброблення з використанням як технологічного середовища МХО-64а товщина білого шару зросла до 320-350 мкм, а мікротвердість до 11,1 ГПа (рис. 4).

Легування сталі хромом, нікелем (у межах 1-3 %) або хромом і нікелем сприятливо впливає на якість білих шарів. Хром у таких кількостях збільшує прогартовуваність сталі, нікель сповільнює аустенітні перетворення, зменшує зв'язок заліза з вуглецем і сприяє більш рівномірному розподілу вуглецю в металі. Товщина білого шару при фрикційному обробленні з використанням мінерального мастила на сталі 40ХН у загартованому і високовідпущеному стані досягає 150-170 мкм, на загартованій і низьковідпущеній – 190-200 мкм (рис. 5). При обробленні з використанням як технологічне середовище МХО-64а товщина білого шару зросла до 250-270 мкм. На якість білих шарів впливає також і марганець. Так, після фрикційного оброблення у поверхневих шарах зразків із загартованої і середньовідпущеної сталі 65Г виникає білий шар товщиною 180-200 мкм, мікротвердість якого у 2,5-2,6 рази більша за вихідну структуру.

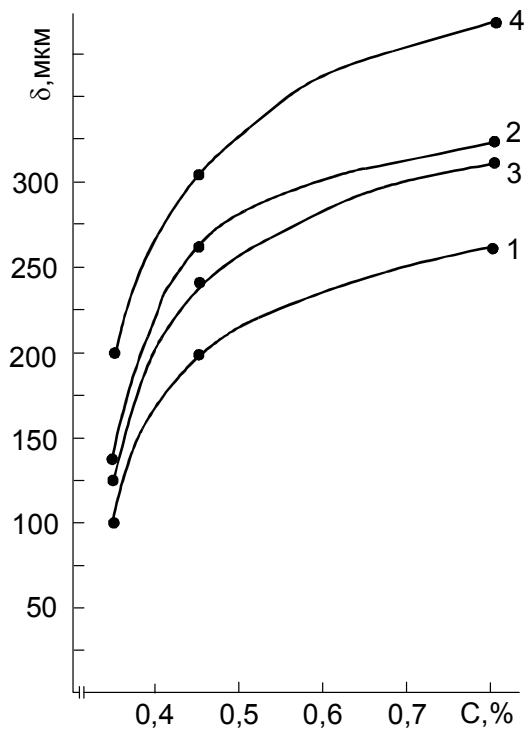


Рисунок 3.

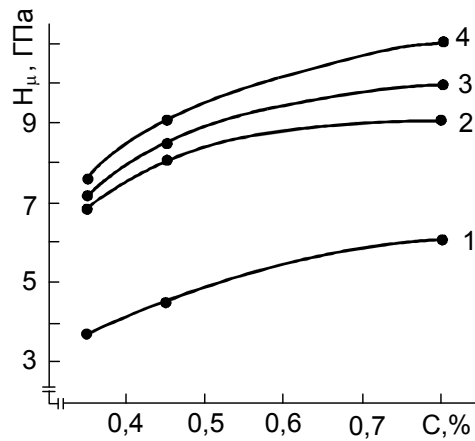


Рисунок 4.

Рис. 3. Залежність товщини білого шару від вмісту вуглецю у сталі (гартування і низький відпуск) після звичайного (1, 2) та імпульсного (3, 4) фрикційного оброблення ($V_{cm} = 4$ м/хв; $S = 3$ мм/дв.хід; $t = 0,35$ мм): 1, 3 - мінеральне мастило; 2, 4 - МХО-64а

Рис. 4. Залежність мікротвердості білого шару від вмісту вуглецю в сталі після фрикційного оброблення: 1 - вихідна структура; 2 - мінеральне мастило; 3 - МХО-64а; 4 - імпульсне оброблення, МХО-64а

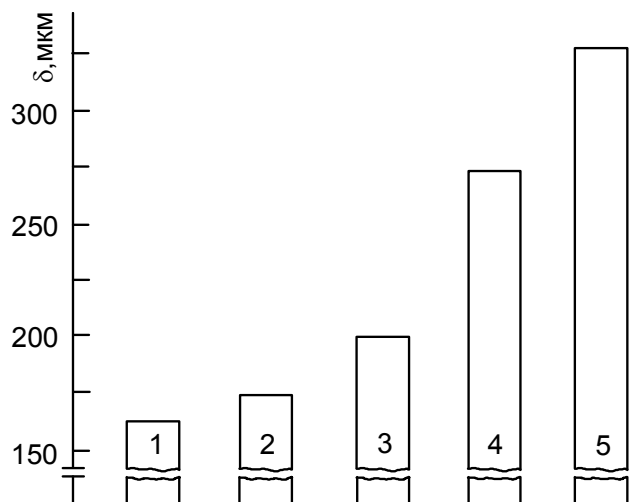


Рис. 5. Товщина білого шару, отриманого на сталі 40ХН (1, 2 - гартування і високий відпуск; 3, 4, 5 - гартування і низький відпуск) після фрикційного оброблення у мінеральному мастилі (1, 3) та МХО-64а (3, 4, 5); 5 - імпульсне оброблення

Під зміцненим шаром розташована зона підвищеної травимості (пониженої твердості), яка утворюється в результаті відпуску підповерхневого шару металу. У цьому шарі металу градієнт концентрації енергії різко падає й відбувається нагрівання до температур нижчих точки фазових перетворень. Внаслідок цього проходить місцевий високий відпуск попередньо загартованого і низьковідпущеного металу. При фрикційному обробленні незагартованого металу (після відпалу, нормалізації) зона підвищеної травимості не спостерігається.

Для утворення якісних білих шарів необхідне імпульсне нагрівання до високих температур з одночасним імпульсним пластичним деформуванням і швидкісне охолодження, які впливають на фазові та структурні перетворення, а також фізико-механічні властивості оброблюваного металу.

Вплив пластичного деформування на формування білих шарів проявляється у зміні мікроструктури мартенситу. Імпульсна пластична деформація в області аустенізації приводить до подрібнення зерен аустеніту. Кристали мартенситу, що утворюються з такого деформованого аустеніту, значно меншої величини, аніж при звичайному гартуванні, а кількість мартенситу збільшується не за рахунок збільшення величини кристалів, а за рахунок збільшення їх кількості. Цим можна пояснити високу дисперсність білих шарів. Неоднорідність аустеніту призводить також до концентрації неоднорідного мартенситу білих шарів. Імпульсні тиски впливають як на процес аустенізації, так і на мартенситне перетворення.

Таким чином, підвищення метастабільності структури металу, збільшення вуглецю у сталі й легування нікелем, хромом, марганцем та іншими карбідотворюючими елементами та використання водню, який виділяється з технологічного середовища, сприяють покращенню умов утворення білих шарів.

The increase meta-stability structure of metal, the carbon content of steel, alloying nickel, chromium, manganese and other carbide form elements, use hydrogen, which extraction into technological medium, improve white layers condition formation in the friction hardening.

Література

1. Бабей Ю.И., Швец В.В., Гурей И.В. Упрочнение поверхностных слоев стальных и чугуновых деталей фрикционной обработкой // Вестник машиностроения. - 1987. - № 10. - С. 39-40.
2. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов : Справочник. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
3. Шаповалов В.И. Водород как легирующий элемент // Металловед. и терм. обраб. мат. - 1985. - № 8. - С. 13-17.
4. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 232 с.
5. Ткачев В.И., Холодный В.И., Левина И.Н. Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода. – Львов : Вертикаль, 1999. – 255 с.
6. Колачев Б.А. Водородная хрупкость металлов.– М.: Металлургия, 1985.–216 с.
7. Сошко А.И. Физико-химическая механика обработки твердых тел в полимерсодержащих смазочно-охлаждающих жидкостях / Свойства конструкционных материалов при воздействии рабочих сред. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 232-238.
8. Гурей І.В. Вплив технологічних середовищ та матеріалу інструменту на параметри фрикційного зміцнення // Машинознавство. – 1998. - № 11/12. - С. 30-34.

Одержано 26.11.2004 р.