ВИКОРИСТАННЯ ФРИКЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ЧАВУНУ

Лалазарова Наталія Олексіївна
к.т.н., доцент, доцент
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет

Афанасьєва Ольга Валентинівна
к.т.н., доцент, доцент
Харківський національний
університет радіоелектроніки

Кривенко Артем Андрійович
студент
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет

Серед перспективних конструкційних матеріалів, що знаходять все більше застосування в транспортному машинобудуванні, високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ) [1, 2]. Високоміцний чавун має високий рівень технологічних та технологічних властивостей, з нього виготовляють деталі складної форми – колінчасті і розподільні вали, блоки і кришки блоків циліндрів [2]. Більшість деталей працюють в умовах тертя і зношування.

Як відомо, довговічність деталей залежить від якісного стану їх поверхневого шару, що формується на заключних операціях технологічного процесу виготовлення. В наступний час розвиваються технологічні процеси модифікування поверхневого шару деталей, які в якості теплового джерела енергії використовують концентровані потоки енергії, що суттєво впливають на структуру та властивості і визначають якість зміцненого шару.

Актуальною є проблема вибору такого технологічного процесу, який би забезпечував необхідну якість поверхневого шару і не потребував суттєвих енерговитрат.

Якість поверхневого шару (мікроструктура, фазовий і хімічний склад, залишкові напруження, параметри шорсткості) остаточно формується на заключних операціях технологічного процесу обробки деталі і визначає експлуатаційні властивості виробу. У технологічних процесах виготовлення деталей та їх відновлення все більша увага приділяється операціям поверхневого зміцнення, які дозволяють отримувати потрібні характеристики якості поверхневого шару без додаткової обробки.

Для зміцнення використовують способи поверхневого пластичного деформування (ППД) [3, 4], що дозволяють формувати поверхневий шар з показниками: глибина зміцнення 0,1...1,5 мм, підвищення твердості зміцненого

шару до 20...150 %, величина стискаючих напружень на рівні 200...1400 МПа і більше.

З методів ППД перспективним є вібраційно-відцентрове зміцнення (ВВЗ). Найбільша ступінь зміцнення досягається при обробці вуглецевих сталей; леговані стали менш схильні до зміцнення.

Приклад використання зміцнення ППД – вібраційно-відцентрове зміцнення (ВВЗ) в поверхневих шарах сталей 35 та 40Х формує підвищений рівень залишкових напружень [5]. При оптимальній тривалості зміцнення в діапазоні 25 – 30 хв для сталі 35 забезпечуються максимально досяжні колові напруження стиску до 1450 МПа, а для сталі 40Х – до 1600 МПа.

В роботі [6] наведені результати випробувань на зносостійкість сірого чавуну марки СЧ20 після обробки тертям – фрикційного зміцнення, що забезпечує формування на поверхні деталі білого шару з нанокристалічною структурою та забезпечує підвищення зносостійкості при граничному терті і питомому навантаженні 2 МПа майже у 8 разів. Шорсткість поверхні після фрикційного зміцнення складає 0,25 – 0,5 мкм.

В роботі [7] наведені оптимальні параметри фрикційного зміцнення зразків сталей плоскої і циліндричної форми в різному вихідному стані.

Аналіз літературних джерел показав, що фрикційна обробка – це метод поверхневого зміцнення, який забезпечує істотне підвищення мікротвердості і формування необхідних величин шорсткості. Цей метод зміцнення є достатньо економічним і простим в реалізації, не потребує складного обладнання, суттєвих витрат енергетичних ресурсів.

При фрикційному зміцненні потік енергії створюється за рахунок високошвидкісного тертя зміцнювального інструменту-диска і оброблюваної деталі. Разом з процесом тертя має місце зсувне деформування, що відбувається також з великою швидкістю. На протязі зовсім малого часу поверхневі шари деталі нагріваються до температури вище A_{c3}. Так як товщина нагрітого шару невелика, його охолодження відбувається з високими швидкостями за рахунок відведення тепла в глибину металу. Таке охолодження набагато швидше, ніж при звичайному гартуванні. В результаті фрикційної обробки формується білий шар, структура якого – високодисперсний мартенсит, карбіди і залишковий аустеніт [7, 8].

Дослідження впливу фрикційної обробки на структуру і властивості поверхневого шару проводилося на зразках з високоміцного чавуну, які використовують для виготовлення колінчастих і розподільних валів автотракторних двигунів, наступного хімічного складу: 3,5 % C; 2,7 % Si; 0,005 % S; 0,7% Mn; 0,03 % P; 0,1 % Ni; 0,07 % Mg; 0,1 % Cr.

Чавунні циліндричні зразки діаметром 60 мм з отвором діаметром 25 мм виготовляли із свідків, які отримували при литті. В якості інструменту використовували фрикційний диск із сталі 40Х, шириною 40 мм. Зразки з чавуну надівали на оправку діаметром 25 мм, яку закріплювали в центрах модернізованого круглошліфувального верстата моделі 3Б151.

Так як експлуатаційні властивості визначаються в першу чергу структурою металевої матриці, то зразки піддавали термічній обробці: гартуванню з середнім і високим відпуском та нормалізації (табл. 1).

Результати фрикційного зміцнення залежать також від технологічних параметрів обробки: глибини, подачі, колової швидкості, швидкості обертання деталі.

Параметри обробки обирали за рекомендаціями і виходячи з технічних характеристик верстата: частота обертання деталі $n_д$ = 1,1 об/с, колова швидкість диска $V_д$ = 26,2 м/с, глибина обробки t = 0,3 мм, швидкість поздовжньої подачі варіювали в інтервалі S = 2 – 10 мм/с. Поверхневе зміцнення проводили без змащення.

Таблиця 1. Структура і властивості досліджуваного чавуну

Умовний номер чавуну	Стан чавуну	Структура чавуну	Твердість, HBW
1	Гартування з 860 ºС, в видержка 1 г, відпуск при 340 ºС, видержка 2 г	Троостит відпуска+ферит+КГ	404 – 437
2	Гартування з 860 ºС, видержка 1 г, відпуск при 550 ºС, видержка 2 г	Сорбіт відпуска+ ферит+КГ	295 – 321
3	Нормалізація з міжкритичного інтервалу: нагрів до 860 ºС, видержка 1,5 г, охолодження в струмені повітря	Перліт +феррит +КГ	250 – 305

Фрикційне зміцнення чавунних зразків проводили диском з поздовжньою подачею (рис. 1).

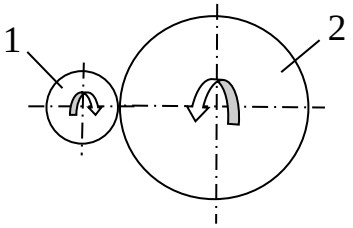

Рисунок 1. Схема фрикційної обробки: 1 – чавунний зразок, 2 – фрикційний диск

Після зміцнювальної обробки на зразках з різною структурою металевої матриці портативним вимірювачем шорсткості моделі TR200 визначали шорсткість обробленої поверхні, вимірювали мікротвердість та товщину зміцненого шару.

Дослідження показали, що мінімальна шорсткість Ra 0,5 мкм отримана при подачі S = 6,0 мм/с на чавуні після гартування і середнього відпуску (рис. 2). Цей чавун має найбільшу твердість.

Величину поздовжньої подачі 6 мм/с можна вважати оптимальним значенням для отримання мінімальної висоти нерівностей.

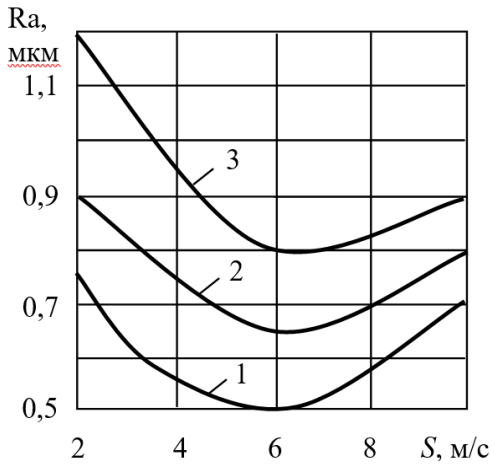

Рисунок 2. Дослідження впливу поздовжньої подачі на шорсткість обробленої поверхні

Найбільша величина мікротвердості і товщина зміцненого шару отримана також на зразках чавуну, які піддавали гартуванню та середньому відпуску (табл. 2).

Найбільший ступінь зміцнення отриманий на чавуні з перліто-феритною металевою матрицею – 2,32 рази, найменший – на чавуні з трооститною металевою матрицею – 1,68 рази.

Для того, щоб показати відмінність властивостей білого шару після поверхневого гартування у процесі фрикційної обробки, високоміцний чавун піддавали також об′ємному гартуванню і низькому відпуску, мікротвердість H_{50} = 6700 МПа. Порівняння мікротвердості чавуну після об′ємного гартування і низького відпуску та після фрикційної обробки чавунів в різному вихідному стані показало, що твердість зміцненого білого шару більше, ніж твердість чавуну після об′ємного гартування. Причому на твердість шару впливає вихідний стан чавуну – найбільша твердість білого шару спостерігається на чавуні, що має структуру трооститу відпуску, найменша – на чавуні із перліто-феритною структурою.

Таблиця 2. Характеристики основи та зміцненого шару на високоміцному чавуні

Характеристики зміцненого шару	Мікроструктура чавуну		
	Троостит відпуску+ферит +КГ	Сорбіт відпуску+ферит +КГ	Перліт +ферит +КГ
Мікротвердість основи, H_{50}, МПа	4800	3500	3100
Мікротвердість поверхневого шару, H_{50}, МПа	8050	7400	7200

Ступінь зміцнення, %	1,68	2,11	2,32
Товщина зміцненого шару, мкм	190	150	120
Підвищення мікротвердості білого шару відносно загартованого чавуну, %	1,2	1,1	1,07

Фрикційне зміцнення може бути використане при обробці шийок колінчастих і розподільних валів для отримання зносостійкого білого шару з високою якістю поверхні. Фрикційна обробка може бути завершувальною технологічною операцією, яка суміщає зміцнювальну обробку з оздоблювальною.

Список літератури:

1. 50th Census of World Casting Production : Modern Casting, December 2016, p. 25 – 29.

2. Клименко С. І. Стан ливарного виробництва в Україні і перспективи його розвитку. *Ливарне виробництво*. 2008. № 5. С. 37 – 38.

3. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / А. Г. Фесенко та ін. Д. : РВВ ДНУ, 2015. 104 с.

4. Інженерія поверхні / Ющенко К. А. та ін. Київ : Наукова думка, 2007. 558 с.

5. Кирилів Я. Б. Визначення залишкових напружень після вібраційно-відцентрового зміцнення поверхонь деталей. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького*. Том 10. № 3(38). Частина 3, 2008. С. 409-417.

6. Гурей Т. А. Підвищення зносостійкості чавунних деталей поверхневим зміцненням. *Вісник ХНАДУ*, 2016. Вип. 74. С. 48-52.

7. Волков О. О., Субботіна В. В., Федоренко Г. А. Розроблення технологічного комплексу для термофрикційного зміцнення виробів з круглим перерізом. *Вісник ХНАДУ*, 2021. Вип. 95. С. 65-72.

8. Гурей В. І. Моделювання амплітудно-частотної характеристики процесу фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей машин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин*. № 2. 2020. С. 51-56.