

УДК 621.891

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРУ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Градиський Ю.О., к.т.н., доц., Карпусенко О.В. аспірант, Завадко С.С.
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка)

Розглянуто вплив швидкості охолодження на структуру і фазовий склад вуглецевих сталей при різних методах зміцнення та відновлення деталей машин. Аналіз показав, що зміна швидкості охолодження може бути використана для отримання оптимальних експлуатаційних характеристик деталей, що працюють в умовах тертя та циклічного навантаження.

Вступ. В даний час існує безліч методів поверхневого зміцнення, однак, накопичений досвід показує, що не існує універсальних методів обробки при виготовленні і ремонті деталей з різних конструкційних матеріалів, тому що кожний метод має свою область раціонального використання. На виробництві все ширше застосовуються високоефективні методи, засновані на використанні електродугових, плазмових, іонно-променевих й інших концентрованих потоків енергії. В зв'язку з цим, все частіше виникає проблема вибору раціонального методу високоефективної обробки з великого числа можливих або створення на їх основі комбінованого методу, що дозволяє комплексно поліпшувати експлуатаційні характеристики деталей машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з найбільш ефективних способів, що дозволяють відновлювати і забезпечувати попереднє зміцнення широкої номенклатури деталей, що працюють в умовах тертя, є зносостійке наплавлення. Методів нанесення наплавочного матеріалу на відновлювану або зміцнювану поверхню безліч. Серед всіх методів заслуговують на увагу ті методи, які є економічними, і дозволяють одержувати покриття з високими експлуатаційними характеристиками. Одним з таких методів є електромагнітне наплавлення (ЕМН) [1].

По процесах, що відбуваються при нанесенні покриття, ЕМН багато в чому схоже на обробку лазером [2]. Розплавлений феромагнітний порошок під дією магнітного поля наноситься на зміцнювану або відновлювану поверхню, де твердіє при великих швидкостях охолодження. Проведені випробування покриттів, отриманих методом ЕМН, показали їх високу зносостійкість [3] з одного боку, а з іншого, у деталях після ЕМН спостерігається погіршення втомних характеристик [4].

При виборі методу поверхневого зміцнення необхідно, щоб отримане захисне покриття сполучало в собі дві якості: високу зносостійкість і позитивний або нейтральний вплив на втомні параметри [5].

Метою статті є аналіз впливу швидкості охолодження на структуру вуглецевих сталей при різних методах зміцнення.

Виклад основного матеріалу. Давно доведено [6], що зносостійкість металу і його опір втомному руйнуванню багато в чому залежить від стану поверхневого шару. Структура отриманого покриття, його фазовий склад, наявність дефектів, все це впливає, в остаточному підсумку на експлуатаційні властивості. В даний час велика увага приділяється комплексним методам обробки, які дозволяють управляти структурою і властивостями матеріалу.

Для поліпшення властивостей покриттів, отриманих ЕМН, вводять додаткові технологічні операції (наприклад, поверхово пластичне деформування (ППД), електромеханічна обробка (ЕМО)), які дозволяють оптимізувати структуру і отримати задовільні експлуатаційні властивості.

На нашу думку, у випадку ЕМН, існує резерв, що забезпечує одержання заданих властивостей покриття, закладений у самому процесі виконання наплавлення. Це регулювання швидкості охолодження при нанесенні покриття. Цілеспрямовано вибираючи параметри процесу кристалізації, можна одержувати покриття із заданою вихідною структурою і заданими властивостями матеріалу.

Отримане після ЕМН покриття являє собою "білий" шар. Структура "білого" шару складається з високодисперсного мартенситу, залишкового аустеніту і дуже дисперсних карбідів [7]. Процентний вміст мартенситу і аустеніту в покритті, дисперсність карбідів, їх рівномірність розподілу по всьому об'ємі зміцненого шару, багато в чому залежить від швидкості охолодження "білого" шару. А це в свою чергу впливає на твердість, пластичність покриття, його зносостійкість і здатність зміцненої деталі опиратися втомному руйнуванню.

Вперше вплив швидкості охолодження на будову металу було помічено Д.К. Черновим в 1878 році, при описі кристалізації сталевих зливок. Подальший розвиток теорії й практичні дослідження показали, що управляючи швидкостями нагрівання і охолодження, можна одержувати фази або суміші фаз зі значним відхиленням складу і будови від рівноважного, а це у свою чергу приводить до істотних змін механічних властивостей сплавів. Так зародився практичний напрямок у металознавстві, що представляє собою зміцнення металів у результаті термічної обробки.

Проведені детальні дослідження в більше пізній час показали [8, 9], що швидкість охолодження металу істотно впливає на механічні властивості сталей і сплавів. Авторами був проведений розрахунок швидкостей охолодження конструкційних сталей і визначений їх вплив на механічні властивості. Наприклад, для сталей 45, 40Х, 40ХН кращий інтервал швидкостей охолодження перебуває в межах 6000...36000°С/год [9].

Подальше дослідження впливу швидкості охолодження, на властивості металів і сплавів, привело до створення технології кокільного лиття з

інтенсивним тепловідводом (КЛІТ-технологія) [10]. Дана технологія забезпечує охолодження зі швидкостями до 10^6 °C/c [11].

КЛІТ-технологія дозволяє боротися з такими явищами, що виникають при повільному охолодженні, як формування грубої дендритної будови, утворення великих первинних структур, розвитку ліквациї, виділенням надлишкових фаз по границях кристалів.

Розглянемо, як впливає застосування інтенсивного тепловідводу на структуру і властивості сталей. Швидкість охолодження в межах 10^2 - 10^3 °C/c забезпечує гомогенність литої структури, значно придушує виділення надлишкових фаз і неметалічних включень, переохолодження твердого розчину до температур мартенситного перетворення [10]. Збільшення швидкості охолодження приводить до значного росту твердості й міцності. Охолодження зі швидкістю до 200°С/с поліпшує пластичність, при більшій швидкості, рівень пластичності трохи знижується. Швидкість охолодження значно впливає на розмір мікрозерна, збільшення на три порядки швидкості охолодження, викликає здрібнювання розміру зерна більш ніж на вісім номерів [10].

На думку авторів [12], більш інтенсивний тепловідвід сприяє значному поліпшенню ударної в'язкості. Основне її поліпшення відбувається після охолодження зі швидкістю більше 350°С/с. Тут же відзначено, що збільшення швидкості охолодження до 10^3 °C/c приводить до невеликих змін пластичності.

В роботі [13] відзначено, що метал, після швидкого охолодження має деякі структурні особливості. Швидкість охолодження така, що карбіди не встигають виділитися з твердого розчину, а ті, що виділилися, мають невеликі розміри. При швидкості охолодження 850°С/с середній розмір карбідів 0,5...2,0 мкм. Структура такої сталі характеризується більш рівноважним розміщенням карбідної фази. За умови швидкого охолодження, не встигають реалізуватися процеси ліквациї й сегрегації, твердий розчин стає досить однорідним, зерно і дендрити дисперсними. При подальшій термообробці швидкоохолодженої сталі, більш високий ступінь легованості аустеніту, його гомогенність, будуть забезпечувати підвищену кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість і погіршує службові характеристики виробів із сталі.

Дослідження впливу швидкості охолодження на структуру евтектичних сплавів заліза показало, що поліпшення властивостей пов'язано з переходом евтектики в структуру тонкого конгломерату фаз, при цьому фазовий склад практично не змінюється. Зміна механізму кристалізації відбувається при досягненні швидкості охолодження близько $3,6 \times 10^{-2}$ °C/год [14].

Однієї з характеристик металу, від якої багато в чому залежать механічні властивості є мікротвердість. При зміні швидкості охолодження виявлено дві тенденції зміни мікротвердості. В роботах [15, 16] відзначено, що зі збільшенням швидкості охолодження мікротвердість знижується. Зміна

мікротвердості вбік її зменшення пов'язують зі зміною в структурі при зміні швидкості охолодження. Після кристалізації з великими швидкостями в структурі виявлений δ - ферит - м'яка структурна складова. В роботі [17] висловлена протилежна думка. Зі збільшенням швидкості тепловідводу мікротвердість збільшується. Максимальна мікротвердість спостерігається при швидкостях охолодження $10^4 \dots 10^5$ °C/с, що відповідає максимальному вмісту залишкового аустеніту (50...60%). При цьому на твердість основний вплив має пересичення евтектичного аустеніту і безпосередньо утвореного з розплаву первинного аустеніту вуглецем і легуючими елементами.

Однак, висока мікротвердість, в багатьох випадках, не завжди сприятливо позначається на інших механічних властивостях металу. Високе значення мікротвердості не завжди прийнятно для деталей, що працюють в умовах циклічного навантаження, через схильність таких матеріалів до крихкого руйнування [18]. Порівняльний аналіз зносостійкості різних зміцнюючих технологій, показав, що твердість покриттів є не основним фактором, що визначає високу працездатність пар тертя [19].

Висновки. Проаналізувавши наявні в літературі відомості про вплив швидкості охолодження на структуру і властивості сталі можна зробити висновок, що області малих і дуже великих швидкостей охолодження не представляють інтересу для комплексного поліпшення механічних властивостей металу. Найкраще сполучення властивостей спостерігається при швидкостях охолодження приблизно рівних 10^4 °C/с.

Виходячи з цього, і з огляду на те, що швидкість охолодження при нанесенні покриттів ЕМН досягає $1,5 \times 10^5$ °C/с і вище [20], виникає необхідність зниження швидкості тепловідводу до оптимального значення. Зменшення швидкості охолодження повинне забезпечити комплексне поліпшення експлуатаційних характеристик за рахунок одержання більш однорідної структури сталі, більш рівномірного розподілу хімічних елементів у наплавленні, дроблення карбідної складової на дрібні зерна і більш рівномірний розподіл їх по всьому об'ємі покриття.

Управляти швидкістю охолодження можна декількома шляхами: зміною температури охолодної рідини або підігрівом деталі на яку наноситься зміцнюючий шар. Наприклад, проведення електроіскрового легування в гарячому стані дозволяє збільшити глибину зміцненого шару, зменшити величини залишкових і термічних напружень [21]. При цьому спостерігається деяке зниження мікротвердості поверхневого шару.

Однак, нагрів зразків, істотно поліпшує однорідність покриття, зменшує кількість несущільностей і мікротріщин. Зменшується глибина поширення тріщин [22]. Підвищення температури підложки полегшує умови карбідоутворення. Виникаючі дисперсні фази не є значними концентраторами напружень [23].

При електроіскровому легуванні сталі 45, проведеному при підігріві зразка, збільшується втомна міцність за рахунок практично повного

зникнення тріщин в покритті і створення пластичного перехідного шару між покриттям і основним матеріалом [23].

Таким чином, для одержання комплексу експлуатаційних властивостей (зносостійкість, втомна міцність) рекомендується проводити відновлення і зміцнення деталей машин з підігрівом підложки для зменшення швидкості охолодження нанесеного матеріалу і одержання оптимальної структури.

Список літератури

1. Ящерицин П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. - Минск: Наука и техника, 1988. – 271 с.
2. Анисимов С.И. Действие излучений большой мощности на металлы. - М.: Наука, 1970. – 184 с.
3. Ящерицин П.И., Кожуро Л.М., Фельдштейн Е.Э. Износостойкость покрытий, получаемых электромагнитной наплавкой // Трение и износ. - 1997. - Т.18, № 1. - С. 97 - 101.
4. Маловечко Г.В., Федоров А.В., Дудкина Н.Г. и др. Повышение эксплуатационных характеристик закаленных сталей комбинированным поверхностным пластическим деформированием // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 1994. - № 4. - С. 108 - 110.
5. Шевеля В.В., Колда Г.С. Эффективность повышения фреттинг усталостной прочности технологическими методами // Проблемы трибологии. - 1999. - № 1. - С. 12 - 17.
6. Драйгор Д.А. Износостойкость и усталостная прочность стали в зависимости от условий обработки и процесса трения. - К.: Изд - во АН УССР, 1959. – 142 с.
7. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. - К.: Наукова думка, 1988. - 240 с.
8. Шевякина Л.Е. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства углеродистой стали. - Свердловск, 1959. -
9. Вороханов С.В., Борисов И.А., Ремизова А.П. Влияние скорости охлаждения на механические свойства конструкционных сталей. - М.: ЦНИИТмаш, 1977. – 16 с.
10. Кондратюк С.Е., Сокирко С.А., Винокур Б.Б. КЛІТ - технология - резерв повышения свойств сталей // Литейное производство. - 1988. - № 8. - С. 12.
11. Ларінов Л.Н., Кондратюк С.Є, Стоянов О.М. Структура та властивості сплавів швидкоохолоджених з рідкого стану // Металознавство та обробка металів. 1996. - № 1 - 2. С. 30 - 38.
12. Кондратюк С.Е., Винокур Б.Б. Сокирко Л.А. Применение интенсивного теплоотвода при кристаллизации и охлаждении для улучшения свойств сталей // МиТОМ. - 1988. - № 9. – С. 45 - 50.

13. Кондратюк С.Є., Вінокур Б.Б. Зміцнююча термічна обробка швидкорізальної сталі виготовленої за КЛІТ - технологією // Термічна та хіміко - термічна обробка. 1997. - № 1. - С. 30 - 34.
14. Панарін В.Є. Структурні зміни в евтектичних сплавах заліза при твердненні з різними швидкостями // Металознавство та обробка металів. -1997. - № 1. - С. 20 - 25.
15. Озерский А.Д., Фишмайстер Х., Олссон А., Панова Г.А. Структура быстрорежущей стали при больших скоростях затвердевания // МиТОМ. 1984. - № 3. - С. 19 - 24.
16. Чернышева Т.А., Болотова Л.К., Гуляев А.П., Сергиенко Л.П. Влияние фракционного состава исходных порошков на структуру и свойства быстрорежущих сталей // МиТОМ. - 1987. - № 9. - С. 17 - 19.
17. Мухин Г.Г., Короткова Л.П. О природе высокой твердости распыленных быстрорежущих сталей // МиТОМ. - 1982. - № 10. - С. 8 -11.
18. Попандапуло А.Н., Титенская Г.Э. Структура и фазовый состав различнолегированных порошковых быстрорежущих сталей // МиТОМ. – 1982. - № 10. - С. 6-8.
19. Стецьків О.П., Манько О.В., Стецько А.Є. Вплив, зміни режимів при комбінованій зміцнюючій обробці мало- і середньовуглецевих сталей на будову зміцненого шару // Проблеми трибології. - 2000. - № 1. – С. 100 – 101.
20. Дудецкая Л.Р., Орлов Ю.Г., Ткачева В.А. и др. Структурные изменения в поверхностных слоях стали 45 при электромагнитной наплавке порошком быстрорежущей стали // Вести АН Беларусі. Серия физико-технических наук. - 1995. - № 3. – С. 13 - 16.
21. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - К: Наукова думка, 1976. – 219 с.
22. Безбах Н.В., Дубовицкая Н.В., Полковникова Т.А. и др. Влияние газовой среды и нагрева подложки при электроискровом легировании на сопротивление усталости стальных деталей // МиТОМ. - 1993. - № 5. - С. 37 - 40.
23. Безбах Н.В., Дубовицкая Н.В., Коленченко Л.Д. Влияние температуры стальной подложки при электроискровом легировании хромом на изменение структуры и усталостной прочности // Электронная обработка материалов. – 1989. - № 1 - С. 20 - 23.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Градыский Ю.А., Карпусенко А.В., Завадко С.С.

Рассмотрено влияние скорости охлаждения на структуру и фазовый состав углеродистых сталей при разных методах упрочнения и

восстановления деталей машин. Анализ показал, что изменение скорости охлаждения может быть использовано для получения оптимальных эксплуатационных характеристик деталей, которые работают в условиях трения и циклического нагружения.

Abstract

**EFFECT OF COOLING RATE ON THE STRUCTURE OF CARBON
STEEL**

Gradysky Y., Karpusenko A., Zavadka S.

The effect of cooling rate on the structure and phase composition of carbon steels with different methods of hardening and restoration of details of cars. Analysis showed that the change in cooling rate may be used to obtain optimum performance parts that operate under cyclic loading and friction.