

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА КОЕРЦИТИВНОЮ СИЛОЮ¹⁸

Вознюк О.І., ст. гр., МС-31-20, , ХНАДУ

Анотація. Розглянуто зв'язок між коерцитивною силою і твердістю середньовуглецевої сталі після різних видів термічної обробки, на основі якого магнітний аналізатор можна налаштувати на автоматичний переклад значень H_s в значення твердості.

Ключові слова: сталь, термічна обробка, коерцитивна сила, твердість.

QUALITY CONTROL OF HEAT TREATMENT FOR COERCIVE FORCE

Vozniuk O, st. of gr. МС-31-20, KhNAHU

Abstract. The relationship between the coercive force and the hardness of medium-carbon steel after various types of heat treatment is considered, on the basis of which the magnetic analyzer can be configured to automatically translate H_s values into hardness values.

Key words: steel, heat treatment, coercive force, hardness.

Вступ

Проблема контролю якості деталей є надзвичайно важливою і актуальною, оскільки це впливає на якість машин і конструкцій. До параметрів якості, які в першу чергу піддаються контролю, належать мікроструктура і механічні властивості деталей [1]. Якість деталей машин, їх працездатність залежать в основному від якості термічної обробки. Контроль якості термічної обробки проводять на підприємствах за твердістю – це досить точний, простий, зручний та ефективний метод [2]. Однак контролювати якість термообробки вимірюванням твердості в деяких випадках недостатньо надійно, а іноді й неможливо. Після виміру твердості на поверхні деталі залишається відбиток, який у випадку виготовлення прецизійних деталей необхідно видалити механічною обробкою. Не завжди можна використовувати твердість і в тому випадку, коли необхідно піддавати вхідному або вихідному контролю всі деталі, що виготовляються. У зв'язку з цим для стовідсоткового контролю деталей потрібно застосовувати фізичні методи контролю, які мають високу продуктивність і є неруйнівними.

Багаторазово робилися спроби замінити повільні і дорогі випробування механічних властивостей неруйнівними структурно-чутливими фізичними методами контролю, наприклад: акустичними, магнітними, радіохвильовими, електричними та ін. [3-5].

У даній роботі для контролю якості був обраний магнітний метод (за коерцитивною силою), як один з найбільш широко використовуваних методів контролю структури і механічних властивостей деталей і виробів з ферромагнітних матеріалів [1]. Фізичною основою магнітних методів є чутливість фізико-механічних і магнітних властивості сталей до змін, що відбуваються в фазовому і хімічному складі, структурному і напруженому станах сталей і сплавів [1].

Аналіз публікацій

В основі електромагнітних методів контролю якості термічної і хіміко-термічної та інших видів обробок лежить залежність магнітних і електричних властивостей від змін у струк-

¹⁸ Робота виконана під керівництвом доцента Лалазарової Н.О.

тури металу, які відбуваються в процесі обробки [3-5]. Однак, ця залежність є дуже складною, ряд факторів, що впливають на неї, взаємно перетинаються, і тому немає якогось універсального закону, що дозволяє у всіх випадках без попередніх досліджень застосовувати магнітний або електричний метод контролю замість механічних та металографічних досліджень. Тому існує необхідність експериментального визначення зв'язку магнітних характеристик із структурними і механічними параметрами. Потім відповідно обраним параметрам, формі і розмірам виробу, який підлягає контролю, розробляється апаратура, що дозволяє швидко і досить точно проводити контроль механічних або інших фізичних чи експлуатаційних властивостей виробів за їх магнітними і електричними властивостями.

Під магнітним структурним аналізом слід розуміти всякі магнітні випробування, основною метою яких є не встановлення конкретних значень магнітних властивостей даного виробу або сплаву, а судження за магнітними властивостями про ті чи інші характеристики виробу або авища, які в ньому відбуваються.

Магнітні методи контролю мікроструктури і властивостей застосовують для металів і сплавів з яскраво вираженими магнітними властивостями – феромагнетиків.

Коерцитивна сила є однією з найбільш структурно чутливих характеристик феромагнетиків і тому її використовують для контролю якості термічної обробки і механічних властивостей різних сталевих і чавунних виробів. За значенням коерцитивної сили можна визначити твердість, глибину цементованного шару деталей, які піддають гартуванню струмами високої частоти. Для застосування цього способу контролю необхідно попередньо встановити зв'язок між коерцитивною силою і механічними характеристиками, і далі за значенням коерцитивної сили проводити автоматичний контроль готових виробів.

Мета роботи - встановлення зв'язку між структурою середньовуглецевої сталі, твердістю і коерцитивною силою.

Методики досліджень

Дослідження проводилися на зразках із сталі 45, яка широко використовується для виготовлення деталей машин. Хімічний склад сталі: 0,42 % вуглецю, 0,18 % хрому, 0,75 % марганцю. Із сталі 45 були виготовлені зразки діаметром 45 мм і товщиною 8 мм. Зразки піддавали термічній обробці: гартуванню з високим, середнім і низьким відпуском, відпалу і нормалізації. Ці режими термічної обробки є типовими для деталей підйомно-транспортних машин. Крім того, ці режими дозволяють отримати різну мікроструктуру – ферито-перлітну, мартенситу, сорбіту і трооститу відпуску, карбіди різної форми (пластинчаті у перліту і зернисті у сорбіту і троститу), карбіди різних розмірів (у сорбіту і троститу), різний рівень напружень - мінімальний після відпалу, максимальний після гартування.

Твердість сталі вимірювали на твердомірі Роквелла при втискуванні твердосплавної кульки діаметром 1,58 мм (для зразків після відпалу і нормалізації за шкалою В), при втискуванні алмазної піраміди (для зразків після гартування та відпуску за шкалою С).

Металографічні дослідження проводилися за загальноприйнятою мето-дикою згідно з ГОСТ 9450-76 на оптичному мікроскопі МІМ-8.

Для вимірювання коерцитивної сили використовували магнітний аналізатор-коерцитиметр МА-412ММ (рис. 1).

Магнітні методи контролю мікроструктури і властивостей застосовують для металів і сплавів з яскраво вираженими магнітними властивостями – феромагнетиків. Пояснення сильної намагніченості феромагнетиків - наявність у феромагнітному кристалі областей - доменів, які намагнічені до насичення у відсутність зовнішнього магнітного поля. У межах своїх границь кожен домен намагнічений однорідно і до насичення. Домени відокремлені один від одного доменними границями. В процесі намагнічування або розмагнічування відбувається зсув доменних границь. Всі фактори, які сприяють гальмуванню границь доменів, підвищують коерцитивну силу.



Рис. 1 Магнітний аналізатор МА-412ММ

Контроль якості термічної обробки деталей магнітним методом

Результати дослідження мікроструктури, вимірювання твердості і коерцитивної сили сталі 45 після різних режимів термічної обробки занесли в табл. 1.

Найбільше значення коерцитивної сили $H_c = 1,9$ кА/м у сталі після гартування, яка має максимальну твердість 560НВW, найменше – у сталі після відпалу $H_c = 0,3$ кА/м, яка має мінімальну твердість 143НВW.

Таблиця 1 - Режими термічної обробки сталі 45

№ ре-жи-му	Режими термічної обробки	Мікроструктура	Твердість, HR	Твердість, НВW	Коерцитивна сила, кА/м
1	Відпал: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 60 хв, охолодження з піччю	Ферит+перліт	80HRB	143	0,3
2	Нормалізація: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 60 хв, охолодження на повітрі	Ферит+перліт	90HRB	185	0,5
3	Гартування: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 15 хв, охолодження у воді	Мартенсит	55HRC	560	1,9
4	Гартування: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 15 хв, охолодження у воді. Низький відпуск: нагрів до 200 °С, витримка протягом 60хв, охолодження на повітрі	Мартенсит відпуску	54HRC	543	1,6
5	Гартування: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 15 хв, охолодження у воді. Середній відпуск: нагрів до 350 °С, витримка протягом 60 хв, охолодження на повітрі	Троостит відпуску	42HRC	390	1,3
6	Гартування: нагрів до температури 850 °С, витримка протягом 15 хв, охолодження у воді. Високий відпуск: нагрів до 600 °С, витримка протягом 60 хв, охолодження на повітрі	Сорбіт відпуску	26HRC	258	0,9

Максимальне значення коерцитивної сили у сталі після гартування пояснюється тим, що в структурі найбільша кількість феромагнітного заліза (структура мартенсит – пересичений

твердий розчин вуглецю в α -Fe, який має феромагнітні властивості), дефектів кристалічної будови (дислокацій), максимальний рівень внутрішніх напружень. Ці особливості структури гальмують зсув доменних границь. Найменше значення коерцитивної сили після відпалу пояснюється тим, що у цієї сталі мінімальна кількість дефектів кристалічної будови, феромагнітного заліза (фазовий склад – ферит+цементит, ферит має феромагнітні властивості, а цементит – дуже слабкі феромагнітні властивості), найменший рівень внутрішніх напружень, крупне зерно. Це полегшує зсув доменних границь і розмагнічування зразка.

Сталь 45 після нормалізації має твердість 185НВ, а після гартування і високого відпуску - 258НВ. При розходженнях у твердості в 1,4 рази величина коерцитивної сили цих зразків відрізняється в 1,8 рази – після нормалізації $H_c = 0,5$ кА/м, після гартування і високого відпуску – $H_c = 0,9$ кА/м. Це свідчить про те, що коерцитивна сила дуже чутлива до форми карбідів: її величина у сталі з крупними карбідами зернистої форми (структура сорбіту після гартування і високого відпуску) вище, ніж у сталі з карбідами пластинчастої форми (ферито-перлітна структура після нормалізації).

Із збільшенням температури відпуску сталі коерцитивна сила зменшується, що пояснюється зниженням рівня внутрішніх напружень, зменшенням кількості дефектів кристалічної будови та збільшенням розмірів карбідних включень.

На величину коерцитивної сили впливає не тільки форма, але і розмір карбідних включень. Сорбіт від трооститу відрізняється розмірами карбідних включень. Карбідні включення сорбіту мають більші розміри, ніж у трооститу. І відповідно коерцитивна сила у сталі із структурою сорбіту ($H_c = 0,9$ кА/м) менша, ніж із структурою трооститу ($H_c = 1,3$ кА/м). Чим нижче температура відпуску, тем менші розміри карбідних включень. Чим ближчі розміри карбідів до розмірів доменів, тим більше забезпечується зачеплення доменних границь за слабомагнітні включення карбідної фази згідно теорії Карстена. Тобто у збільшенні величини коерцитивної сили основну роль грають не самі слабомагнітні включення цементиту, а їх здатність гальмувати зміщення доменних стінок і тим самим перешкоджати розмагнічуванню феромагнітного матеріалу. Таким чином, збільшення температури відпуску призводить до зниження твердості і відповідно коерцитивної сили.

Залежності твердості і коерцитивної сили від температури відпуску мають однаковий характер – із збільшенням температури відпуску і твердість і коерцитивна сила зменшуються (рис. 2).

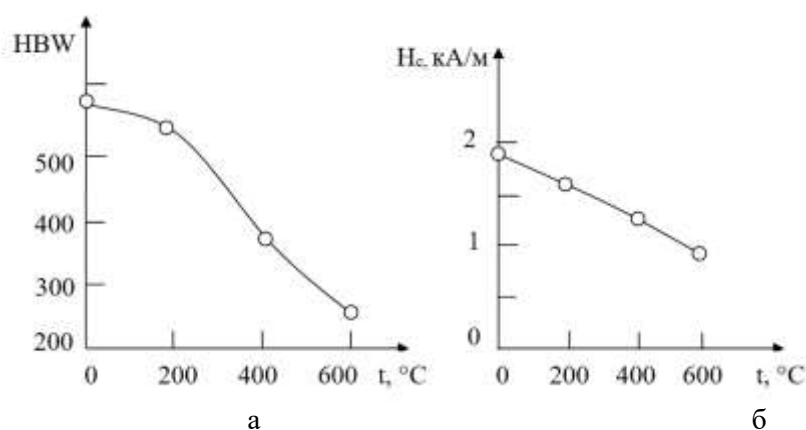


Рис. 2. Залежність коерцитивної сили від твердості зразків із сталі 45 після гартування і відпуску

Це дозволяє зробити висновок про можливість заміни при проведенні контрольної операції якості термічної обробки - твердості на коерцитивну силу. Крім того, при вимірюванні твердості визначають властивості тільки поверхневого шару деталі, а коерцитивна сила чутлива до властивостей всього об'єму.

Після проведення випробувань, використовуючи залежності коерцитивної сили від твердості (рис. 3), магнітний аналізатор налаштовують на автоматичний переклад значень H_c в значення технологічного параметру – твердості. Після цього прилад може бути використаний для контролю твердості деталей однакової форми і розмірів, які зроблені з однієї і тієї ж сталі, за значеннями коерцитивної сили в автоматичному режимі.

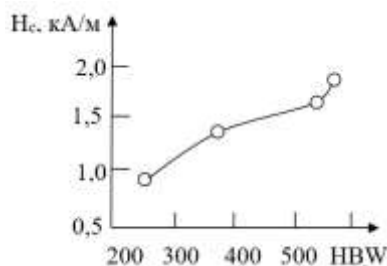


Рис. 3. Залежність коерцитивної сили від твердості сталі 45 після гартування і відпуску

Проведені дослідження дозволили встановити фактори, що впливають на коерцитивну силу: фазовий склад, розміри зерен, форма і розміри карбідних включень, рівень внутрішніх напружень, кількість дефектів кристалічної будови сталі. Тому ця характеристика може використовуватися для неруйнівного контролю структури і властивостей сталевих деталей машин після різних видів термічної обробки.

Висновки

1. На основі проведених досліджень було встановлено, що коерцитивна сила чутлива до всіх змін в складі і структурі сталевих деталей і тому може бути використана для контролю якості термічної обробки.
2. Між коерцитивною силою і твердістю була встановлена залежність, на основі якої магнітний аналізатор був налаштований на автоматичний переклад значень H_c в значення технологічного параметру – твердості.
3. Ці результати, будучи систематизовані, узагальнені і доповнені, можуть лягти в основу розробки методики неруйнівного експрес-контролю якості продукції, що випускається на машинобудівних та металургійних заводах.

Література

1. Дяченко С.С. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. Харків : Вид-во ХНАДУ, 2007. 440 с.
2. Нові принципи оцінки твердості – масового контролю деталей машин / Пятак О.І., Мощенок В.І., Дощечкіна І.В., Кухарева І.Є. // *Вісник ХНАДУ*. 2008. Вип.43. С. 119-122.
3. Чухліб В.Л., Губський С.О. Підходи до вирішення проблем практичного застосування магнітно-коерцитивного контролю при оцінці стану кранових металоконструкцій. *Теорія і практика металургії*. 2020. №2. С.10-16.
4. Діагностування пошкодженості аустенітної сталі AISI 304 при механічному навантаженні по вимірах коерцитивної сили / Гопкало О.П. та ін. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2019. №4. 12–24.
5. Експресна оцінка якості виготовлення гусеничних траків за результатами вимірювання коерцитивної сили / Гопкало О.П. та ін. *Технічна діагностика і неруйнівний контроль*. 2022. №4. С. 33-40.