

Л. І. ВАКУЛЕНКО (Придніпровська залізниця, Дніпропетровськ),
Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДІПТ)

ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЗНЕМІЦНЕННЯ ПРИ ВІДПУСКУ ЗАГАРТОВАНОЇ КОЛІСНОЇ СТАЛІ

Розглянуто питання стосовно оцінки зміни твердості та швидкості розповсюдження звукових коливань після відпуску загартованої колісної сталі.

Рассмотрены вопросы оценки изменения твердости и скорости распространения звуковых колебаний после отпуска закаленной колесной стали.

The issues re. estimation of changes in hardness and sound vibration propagation velocity after tempering the hardened railway wheel steel are considered.

В сучасних умовах експлуатації залізничного транспорту питання підвищення експлуатаційної безпеки являється достатньо актуальною проблемою. Однією із складових при вирішенні наведеної проблеми являється розробка пропозицій по застосуванню способів діагностування структурного стану металевих матеріалів, в тому числі ультразвукові [1]. Порівняно з ультразвуковою дефектоскопією, вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань має визначене значення [2]. Аналіз відомих експериментальних даних [1 – 3] свідчить, що швидкість розповсюдження звукових коливань є достатньо чутливою характеристикою стосовно зміни розміру зерна матриці металу [3], викривлень другого роду кристалічної решітки [1 – 3], твердості [3, 4] та ін.

Метою роботи є оцінка можливості прогнозування зміни твердості при відпуску загартованої вуглецевої сталі.

Матеріалом для дослідження була вуглецева сталь марки 60 залізничного колеса виробництва ВАТ «Інтерпайп НТЗ». Різний рівень зміцнення досягали за рахунок гартування від нормальних температур нагріву з послідовним відпуском при різних температурах, тривалістю 1 год. Твердість сталі оцінювали за методикою Віккерса при навантаженні на індентор 10 кг (Hv). Швидкість розповсюдження звукових коливань вимірювали з використанням приладу ПС-12 з робочою частотою 1024 Гц. Ширину лінії рентгенівської інтерференції визначали, використовуючи методики рентгеноструктурного аналізу.

При відпуску загартованої вуглецевої сталі основним процесом є розпад пересиченого твердого розчину вуглецю в α -залізі [5]. Враховуючи високий ступінь пересичення вуглецем α -твердого розчину і одночасну нестабільність

сформованих кристалів мартенситу [5, 6], невеликих за тривалістю витримок при нагріві до температур 100 °С вже достатньо для початку перерозподілу атомів вуглецю. Наведене положення підтверджується експериментальними даними по впливу температури відпуску загартованої сталі марки 60 на ширину лінії рентгенівської інтерференції (211) – B_{211} (рис. 1). Так, незначна немонотонність при температурах 50...75 °С може бути пов'язана з етапами розвитку процесів розупорядкування атомів вуглецю.

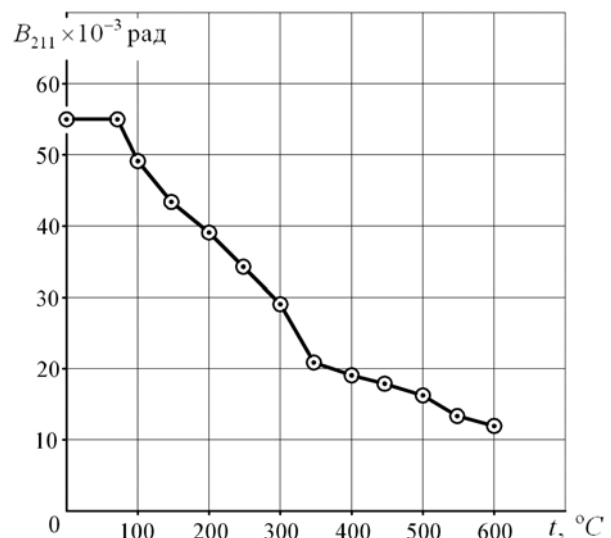


Рис. 1. Значення ширини лінії рентгенівської інтерференції (211) залежно від температури відпуску загартованої сталі марки 60

Подальше підвищення температури відпуску до 300 °С супроводжується закономірним зниженням викривлень кристалічної решітки, що за рахунок зниження опору переміщенню дислокацій під час навантаження сталі повинно приводити до знеміцнення металу. Продовження підвищення температури відпуску вище

400 °С веде до початку розвитку процесів коалесценції карбідної фази і, як наслідок цього, зниження мікронапружень та росту розміру областей когерентного розсіювання. Враховуючи, що після відпуску при температурах 350...400 °С величина мікронапружень досягає мінімальних значень [6] і в подальшому не має вагомому впливу на рівень міцності та твердості, розмір областей когерентного розсіювання стає характеристикою, яка визначає рівень знеміцнення сталі. Наведене положення підтверджується формуванням перегину на залежності B_{211} від температури відпуску.

Характер зміни твердості при відпуску загартованої сталі (рис. 2) достатньо однозначно відповідає сумарному впливу мікронапружень і розміру областей когерентного розсіювання (оцінка за величиною B_{211}).

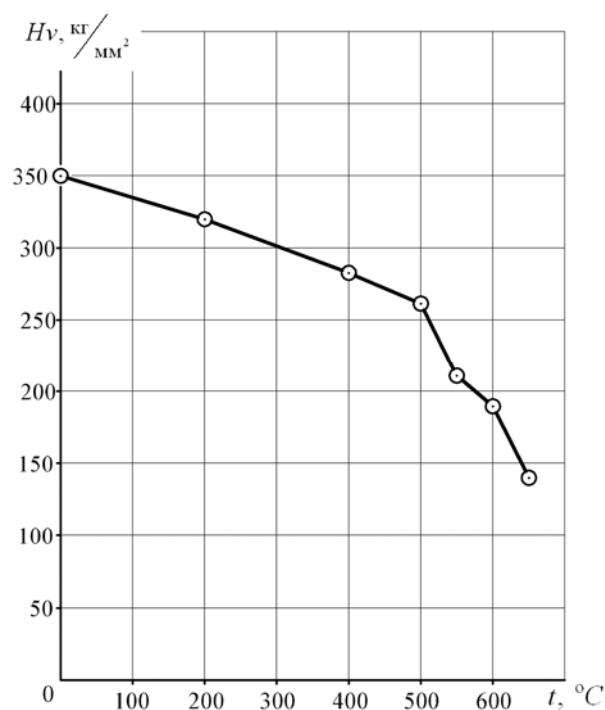


Рис. 2. Залежність твердості за Віккерсом від температури відпуску загартованої сталі марки 60

На підставі аналізу залежностей B_{211} і H_v від температури відпуску можна вважати, що існує взаємозв'язок між ними. Дійсно, після нанесення відповідних значень B_{211} проти H_v (рис. 3) можна говорити про існування однозначного зв'язку з високим коефіцієнтом кореляції. Причому необхідно відзначити, що однозначність зв'язку зберігається незалежно від зміни основного чинника впливу: мікронапружень при нагріві до 350 °С [6] або областей ко-

герентного розсіювання для температур після 350 °С.

Вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань показали відповідну залежність від розвитку процесів знеміцнення в загартованій сталі (рис. 4).

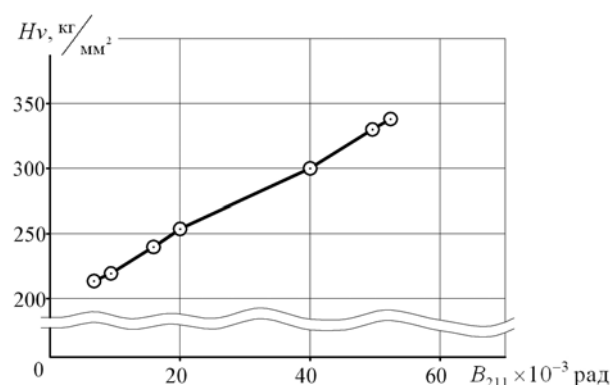


Рис. 3. Взаємозв'язок між твердістю і шириною лінії (211) загартованої та відпущеної сталі марки 60

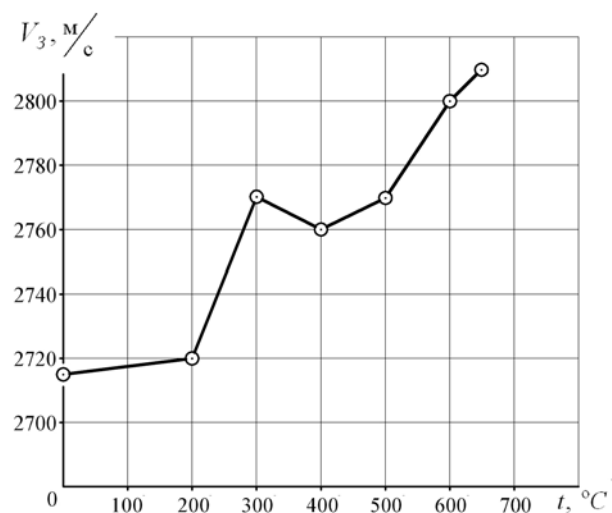


Рис. 4. Залежність швидкості розповсюдження звукових коливань від температури відпуску загартованої сталі марки 60

Враховуючи, що процес гартування сталі супроводжується накопиченням великої щільності дефектів кристалічної будови з одночасним високим рівнем мікронапружень від пересичення вуглецем твердого розчину, швидкість розповсюдження звукових коливань за даних умов мінімальна. При нагріві загартованої сталі розвиток процесів знеміцнення супроводжується зростанням урівноваження структури [1, 2], що в свою чергу може розглядатися як зниження кількості чинників, які перешкоджають розповсюдженню звукових коливань. Таким чином, швидкість звуку повинна зростати, що в дійсності і спостерігається (рис. 4). Аналіз характеру залежності величин H_v і V_3 від темпе-

ратури відпуску вказує на існування взаємозв'язку між ними (рис. 5). З іншого боку, аналогічне співвідношення існує між V_3 і ступенем нерівноважності структури, наприклад з величиною B_{211} .

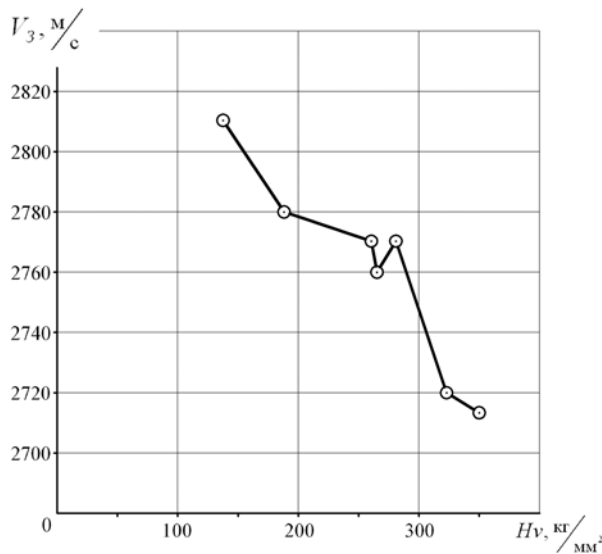


Рис. 5. Взаємозв'язок між V_3 і Hv загартованої і відпущеної при різних температурах сталі марки 60

Наведені результати (існування кореляційного зв'язку між V_3 і твердістю) не є несподіваними, отримані раніше подібні співвідношення [1 – 4] вказують на можливість застосування методу вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань для аналізу структурних перетворень в об'ємі металу поблизу поверхні кочення залізничних коліс і бандажів. Річ у тому, що в реальних умовах експлуатації в залізничних колесах та бандажах, за рахунок одночасного складного впливу пластичної деформації та циклічного змінення етапів нагріву та охолодження, відбуваються структурні перетворення, які у більшості випадків носять непередбачуваний характер. Отже, послідовне вивчення окремих процесів структурних перетворень із застосуванням різноманітних

методів дослідження є достатньо актуальним питанням.

Висновки

1. При відпуску загартованої вуглецевої сталі розвиток процесів структурних перетворень супроводжується зниженням міцності з одночасним зростанням швидкості розповсюдження звукових коливань.

2. За умови незмінності структурного стану металу, твердість і швидкість розповсюдження звукових коливань мають обернено пропорційний зв'язок.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Муравьев, В. В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки [Текст] / В. В. Муравьев // Дефектоскопия. – 1989. – № 2. – С. 66-68.
2. Муравьев, В. В. Влияние термической обработки на скорость ультразвука в алюминиевых сплавах [Текст] / В. В. Муравьев // Дефектоскопия. – 1989. – № 11. – С. 65-72.
3. Вакуленко, И. А. О влиянии размера зерна феррита и объемной доли аустенита на зависимость скорости распространения звуковых колебаний от твердости стали [Текст] / И. А. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин, В. М. Емельянов // Дефектоскопия. – 1993. – № 7. – С. 32-36.
4. Влияние размера зерна феррита в низкоуглеродистой горячекатаной стали на скорость распространения звуковых колебаний в процессе нагружения [Текст]. – В кн.: Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии / И. А. Вакуленко [и др.]. – Д.: ИЧМ НАНУ, 2004. – С. 198-202.
5. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
6. Курдюмов, Г. В. О кристаллической структуре закаленной стали [Текст] / Г. В. Курдюмов // ФММ. – 1966. – т. 22, вып. 5. – С. 752-765.

Надійшла до редколегії 12.01.2010.

Прийнята до друку 20.01.2010.