

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ЧАСТКИ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ В ПРОКАТІ З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Розглянуто вплив об'ємної частки зміцненого шару та параметрів магнітної фази на рівень міцностних характеристик термозміцненого прокату.

Рассмотрено влияние объемной доли упрочненного слоя и параметров магнитной фазы на уровень прочностных характеристик термоупрочненного проката.

The paper examines the influence of voluminous share and the parameters of magnetic phase on the level of strength characteristics of thermally strengthened rolled metal.

На металургійних підприємствах при виготовленні прокату, призначеного для залізничного транспорту, широке розповсюдження отримали термічні та термомеханічні обробки, які сприяють досягненню підвищеного комплексу властивостей металу. Аналіз сучасних досягнень у технології формування структури термозміцненого прокату вказує на значну структурну неоднорідність, яка виникає по перерізу металу [1]. Слід відзначити, що в цілому структура металу має декілька зон. Починаючи від поверхні, на якій формується шар з мартенситоподібною структурою, далі слідує перехідна зона, яка являє собою суміш проміжних структур з різним ступенем відпуску. Та нарешті, центральні об'єми мають структуру гарячекатаного металу. Зі зростанням ступеня зміцнення довжина окремих зон з різним сполученням структурних складових змінюється, пропорційно їм змінюються і властивості сталі. Таким чином, набирають великого значення питання, які дозволяють оцінити довжину прошарків металу з різним структурним станом, зокрема з мартенситоподібною структурою, як головною в досягненні високих рівней міцнісних властивостей металу після термомеханічного зміцнення [1].

Мета роботи – це спроба оцінити об'ємну частку зміцненого шару при термомеханічній обробці вуглецевої сталі, яка може бути корисною при виготовленні металевих виробів для залізничного транспорту.

Матеріалом для досліджень був стрижневий прокат діаметром 14 мм зі сталей з вмістом вуглецю до 0,22 %, виробництва металургійного комбінату «Криворіжсталь». Температура кінця прокатки була 1100 °С. Умови зміцнення змінювались за рахунок включення необхідної кількості охолоджуючих пристроїв. Крім цього, кількість пристроїв та їх взаємна розташованість, на шляху просування прокату, зумовлю-

вала довжину пауз між етапами охолодження. Механічні властивості визначали з аналізу кривої деформації при розтяганні. Структурні зміни в сталі вивчали за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень та методик кількісної металографії [2].

Залежно від хімічного складу сталі, сортаменту та призначення потрібне сполучення властивостей досягають за рахунок різних схем термічного зміцнення [1].

При виготовленні значної кількості видів прокату, технологічною документацією зумовлюються межі коливання вмісту вуглецю та легуючих елементів, що разом з відхиленнями умов термозміцнення призводять до коливання абсолютних значень властивостей прокату від середнього рівня. На підставі цього швидке реагування та уточнення умов зміцнення будуть сприяти підвищенню рівномірності властивостей по партії металу та дадуть змогу диференціювати його по рівнях міцності. Так, прокат з досліджуваних сталей після охолодження до температури 750...780 °С має міцнісні властивості на рівні 420...450 Н/мм². Як показали мікроструктурні дослідження зазначений рівень міцності зумовлено більшою мірою здрібнюванням феритного зерна. Подальше зниження температури кінця охолодження, від 750...780° до 650...600 °С, супроводжується зростанням міцностних властивостей. Як свідчать структурні дослідження, ферито-перлітна суміш, подібна гарячекатаному стану з розміром зерна фериту 8–9 балів, змінюється на більш складну структуру. У цьому разі шари металу на поверхні являють собою відпущені при різних температурах структури, які сформовані за механізмом зсуву, а внутрішні об'єми – це суміш фериту з глобулами цементиту різного рівня дисперсності (рис. 1).

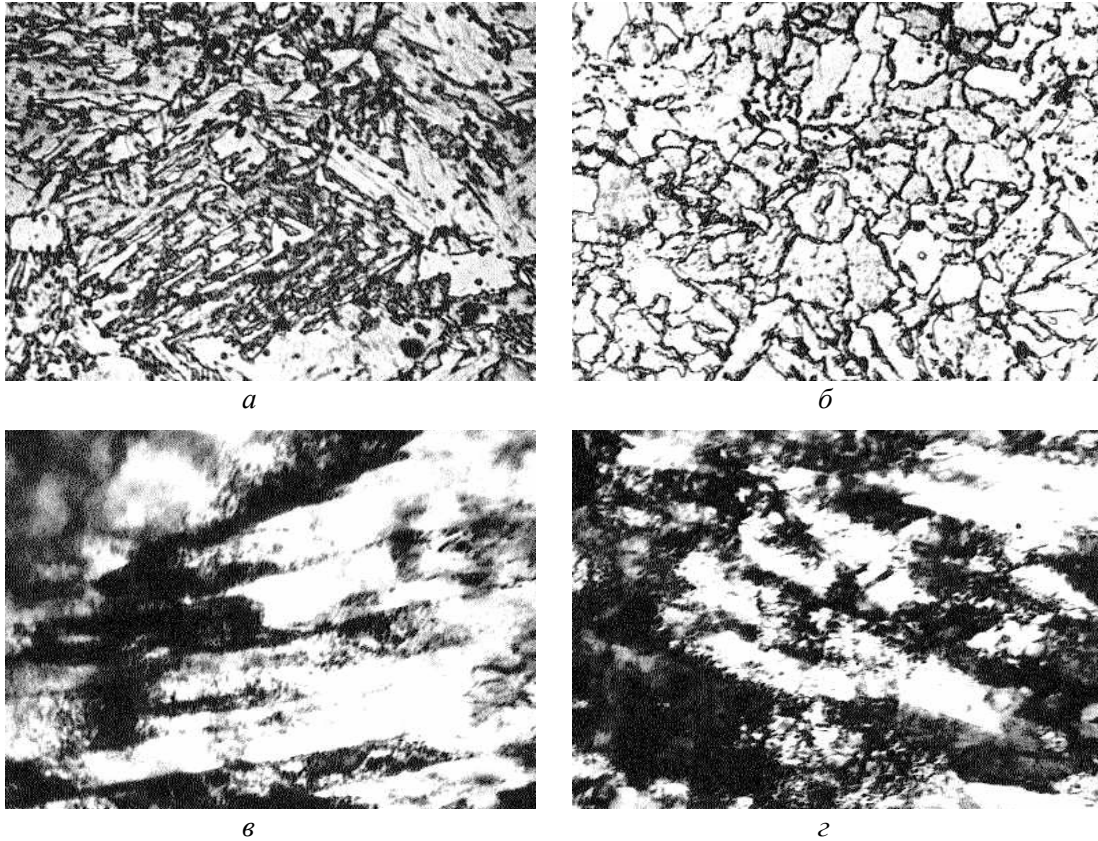


Рис. 1. Структура сталі з 0,22 % С після прискороного охолодження до температури 600 °С: а, б – поверхневі шари; в, г – серединні. (Збільшення 800 (а, б); 24000 (в, г))

Разом зі структурними дослідженнями було проведено вимірювання мікротвердості від поверхні термозміцненого прокату. На підставі аналізу експериментальних даних було встановлено, що починаючи від поверхневих прошарків металу, мікротвердість (H_{μ}) по експоненціальній залежності знижується (рис. 2). Після досягнення деякої глибини просунення, вимірювання H_{μ} показали незмінність значень. На підставі цього, відстань від поверхні у глибину металу до моменту, коли значення мікротвердості стають незмінними, являє собою товщину шару термозміцненого прокату. Зростання рівня зміцнення викликає не тільки збільшення H_{μ} на поверхні, а й змінювання вигляду самої залежності H_{μ} : вона стає більш пологою (рис. 2). Отже, вимірювання мікротвердості дозволяє оцінити довжину термозміцненого шару металу та його об'ємну частку (f). Разом з цим, з урахуванням умов роботи прокатного стану та технології термічного зміцнення, наведений метод не дає змогу вимірювати f .

Одним із альтернативних методів, який дозволить дуже швидко у промислових умовах знайти значення об'ємної частки металу, що перетворюється при охолодженні із аустеніту та

стає феромагнетиком, є електромагнітметричний [3]. Застосування цього методу дає змогу оцінювати кінетику перетворень аустеніту при різних умовах та схемах прискороного охолодження прокату [3; 4]. Перевірка можливості такої роботи була проведена в умовах стану ДС 250-1. Оснащення його спеціально розробленим обладнанням для вимірювання електромагнітних властивостей сталі [4], дало змогу оцінити об'ємну частку термозміцненого шару та зв'язати його значення з рівнем міцностних властивостей прокату. При незмінній схемі прискороного охолодження, зростання концентрації атомів вуглецю в сталі супроводжується підвищенням міцності, пропорційно їм зростає об'ємна частка металу з феромагнітними властивостями (f_{μ}) (рис. 3). Для аналізу можливості прогнозування міцності сталі (σ_B) від f_{μ} розглянемо залежність щільності зв'язку між зазначеними характеристиками.

На підставі наведених залежностей встановлено, що зростання концентрації атомів вуглецю в сталі супроводжується зниженням швидкості зміни σ_B від

$$f_{\mu} \left(\frac{d\sigma_B}{df_{\mu}} \right).$$

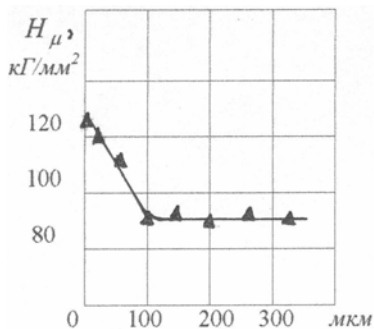


Рис. 2. Мікротвердість фериту в сталі залежно від відстані від поверхні прокату

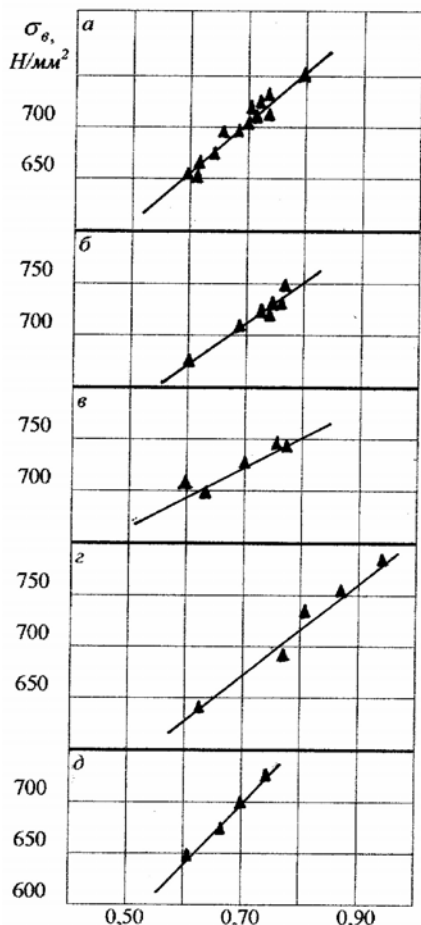


Рис. 3. Вплив вмісту вуглецю: а – 0,173; б – 0,19; в – 0,20; г – 0,21; д – 0,22 % С на залежність σ_B від f_μ

Для термозміцненого стану (рис. 4, а), можна записати:

$$\frac{d\sigma_B}{df_\mu} \approx \frac{1}{C}, \quad (1)$$

де C – концентрація атомів вуглецю в сталі.

У першому наближенні рівень міцнісних властивостей, який досягає в прокаті після його прискореного охолодження, може бути оцінений за рівнянням:

$$\sigma_B = \sigma_B^0 + \left| \frac{d\sigma_B}{df_\mu} \right| f_\mu, \quad (2)$$

де σ_B^0 – деяке значення міцності сталі, коли $f_\mu = 0$.

Враховуючи пропорційне зростання міцнісних властивостей сталі від концентрації атомів вуглецю [1], величина σ_B^0 повинна теж залежати від вмісту вуглецю. Дійсно, знаходження величин σ_B^0 , яке здійснили за екстраполяції залежностей, до перетину з віссю ординат (рис. 3), коли f_μ дорівнювало нульового значення підтвердило це допущення. Знайдені значення σ_B^0 показали прямопропорційну залежність від концентрації вуглецю в сталі (рис. 4, б).

Підставляючи експериментальні значення f_μ , з урахуванням залежності $\frac{d\sigma_B}{df_\mu}$ та σ_B^0 від вмісту вуглецю в сталі, в співвідношенні (2), були розраховані величини міцності (позначимо їх як σ_B^*). Порівняльний аналіз абсолютних значень σ_B і σ_B^* показав достатньо хороший збіг. Квадратичне відхилення від середнього значення не перевищувало 12%.

На підставі отриманих результатів стає можливим застосування електромагнітного методу для оцінки об'ємної частки термозміцненого прокату та може бути корисним при розробці швидкісного контролю і технологічних параметрів виробництва металу, призначеного для залізничного транспорту.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Тылкин. – М.: Металлургия, 1977, – 200 с.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: ГНТИЦМ, 1958 – 446 с.
3. Узлов И. Г. Исследование процесса прерванной закалки проката / И. Г. Узлов, Р. В. Гвоздев, В. В. Парусов и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1982, – № 2. – С. 26–28.
4. Чигринский В. А. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. / ИЧМ НАНУ. – К.: Наук. думка, 1998. – Вып. 2. – С. 400–405.

Надійшла до редколегії 30.11.2004.