

УДК 669.017:621.78:539.4:621.771.29

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ОБОДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА

I. О. ВАКУЛЕНКО

*Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту ім. академіка В. Лазаряна*

Виявлено, що інтенсивне охолодження зі швидкостями 2...9°C/s ободу колеса після його гарячого обтискування на прокатному стані збільшує границі текучості і міцності металу. Встановлено, що за відсутності пересичення твердого розчину атомами вуглецю під час такого охолодження механічні характеристики вуглецевої сталі визначають винятково внутрішні напруження від фазового наклепу фериту в перліті і стан меж ферит–цементит.

Ключові слова: колісна сталь, швидкість охолодження, перліт, ферит, міцність, дислокація.

За інтенсивного охолодження ободу залізничного колеса під час його термо-механічної обробки значення швидкості охолодження на різних відстанях від поверхні кочення знаходяться в інтервалі 2...9°C/s, що відповідає області структурних перетворень у сталях за дифузійним механізмом. За цих умов температура початку реакції перетворення аустеніту в перліт зсувається на 40...50°C [1]. Зміна температурного інтервалу початку перлітного перетворення проявляється в закономірностях структуроутворення вуглецевої сталі. Проте встановлено, що за вказаного інтервалу зміни швидкості охолодження співвідношення між структурними складниками (об'ємні частки структурно вільного фериту і перлітних колоній) залишилися практично незмінним, хоча границі текучості і міцності сталі можуть зростати на 20...30% [1]. Тобто зміну механічних характеристик, ймовірно, спричиняють інші особливості її структури.

Мета цього дослідження – проаналізувати вплив швидкості охолодження на морфологію структури і міцність сталі в ободі колеса після гарячого обтискування на прокатному стані.

Матеріал і методика. Зразки у вигляді пластин товщиною 3 mm вирізали з різних зон ободу колеса зі сталі марки 2 (0,58% C; 0,65 Si; 0,45 Mn; 0,0029 S; 0,014 P та 0,11% Cr) після гарячого обтискування заготовки на колесопркатному стані. Механічні характеристики (границі текучості $\sigma_{0,2}$ і міцності σ_B) визначали за розтягу зі швидкістю деформації 10^{-3} s^{-1} , а морфологію, об'ємні частки фазових складників, їх розмірні характеристики – використовуючи методики кількісної металографії [2].

Результати та їх обговорення. Встановили, що як і в праці [1], співвідношення об'ємних часток перліту і структурно вільного фериту після інтенсивного охолодження в досліджуваному інтервалі швидкостей охолодження (V) практично незмінне. Характеристики міцності залежать від дисперсності перлітної структури. Виявили (рис. 1) обернено пропорційну залежність між механічними властивостями сталі та міжпластинчастою відстанню в перліті (λ). Аналіз наведених

залежностей свідчить, що зі збільшенням швидкості охолодження від 2 до 9°C/s значення $\sigma_{0,2}$ і σ_B зростають на ~160МПа.

Рис. 1. Залежність міжпластинчастої відстані в перліті (a), границь текучості (b) і міцності (c) від швидкості охолодження металу ободу колеса.

Fig. 1. Dependence of ferrite interlamellar thickness in pearlite (a), yield (b) and ultimate (c) strength on cooling rate of a wheel rim metal.

Відомо [3], що границю текучості вуглецевої сталі залежно від розміру структурного елемента визначає довжина вільного пробігу дислокацій. Якщо в низьковуглецевих сталях з феритною структурою вона здебільш збігається з розміром зерна фериту, то для перлітних структур картина дещо інша. Обумовлено це тим, що довжина вільного пробігу дислокацій (Δ) під час розповсюдження пластичної деформації в перліті перевищує товщину феритного прошарку. Дослідженнями стійких смуг ковзання у феритних прошарках перлітних колоній визначили, що $\Delta = 4,75\lambda$, тобто вона дійсно суттєво перевищує товщину феритного прошарку в перліті [3].

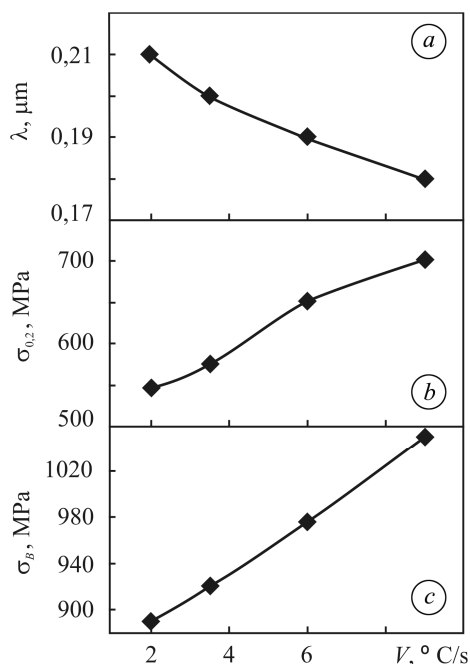
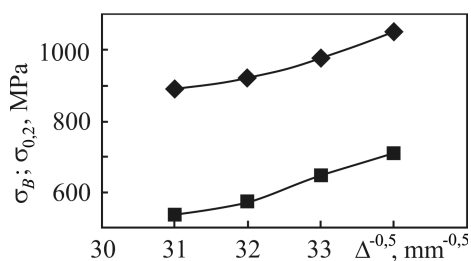


Рис. 2. Вплив довжини вільного пробігу дислокації у феритному прошарку перлітної колонії на границі текучості (■) і міцності (◆) сталі колеса за різної швидкості охолодження.

Fig. 2. Influence of a dislocation free path distance in pearlitic colony ferrite layer on the yield (■) and ultimate (◆) strength of wheel steel under different cooling rate.



Отримані залежності характеристик міцності колісної сталі від довжини вільного пробігу дислокацій (рис. 2) підпорядковуються рівнянню типу Хола-Петча [4]:

$$\sigma_{0,2}; \sigma_B = \sigma_i + k_y \Delta^{-0,5},$$

де σ_i і k_y – напруження тертя кристалічної ґратки фериту перлітної колонії і кутовий коефіцієнт, які залежать від стану твердого розчину (концентрації атомів вуглецю в твердому розчині) та міжфазних границь поділу. За одержаними даними (рис. 2) визначили $k_y \approx 32 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^{0,5}$, $\sigma_i \approx 100 \text{ МПа}$.

Для більшості вуглецевих сталей з феритно-перлітною структурою $\sigma_i \approx 70 \dots 90 \text{ МПа}$ [3, 5, 6]. Тому отримане значення $\sigma_i \approx 100 \text{ МПа}$ узгоджується з літературними і підтверджує відсутність впливу пересичення фериту перлітної колонії атомами вуглецю на міцність після термомеханічної обробки.

Встановлене значення $k_y \approx 32 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^{0.5}$ суттєвіше відрізняється від відомих $20 \dots 22 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^{0.5}$, розрахованих для більшості вуглецевих та низьколегованих сталей з феритними і перлітними структурами [3, 4]. Підвищувати величину k_y можуть внутрішні напруження від фазового наклепу зі зниженням температури початку перлітного перетворення [4]. Це підтверджують результати рентгеноструктурного аналізу. Зі зростанням швидкості охолодження ободу залізничного колеса від 2 до 9°C/s ширина рентгенівської лінії (220) збільшується від 14,8 до 18,7 mrad, що свідчить про формування внутрішніх напружень від фазового наклепу в фериті перлітної колонії. Таким чином, зміну характеристик міцності гарячедеформованої вуглецевої сталі залежно від швидкості охолодження визначають стан міжфазових меж і внутрішні напруження від фазового наклепу за розвитку перлітної реакції.

ВИСНОВКИ

Зі збільшенням швидкості охолодження ободу суцільнокатаного залізничного колеса від 2 до 9°C/s після його гарячого обтискування пересичення фериту перлітної колонії атомами вуглецю практично відсутнє. Ріст характеристик міцності колісної сталі визначають внутрішні напруження від фазового наклепу і стан міжфазових меж перлітних колоній.

РЕЗЮМЕ. Выявлено, что ускоренное охлаждение со скоростями $2 \dots 9^\circ\text{C/s}$ обода колеса после его горячего обжатия на прокатном стане сопровождается увеличением пределов текучести и прочности металла. Установлено, что при отсутствии пересыщения твердого раствора атомами углерода при таком охлаждении механические характеристики углеродистой стали определяются исключительно внутренними напряжениями от фазового наклепа феррита в перлите и состоянием границ феррит–цементит.

SUMMARY. It is shown that the change of the cooling rate velocity in the range of $2 \dots 9^\circ\text{C/s}$ for a wheel rim after hot rolling causes an increase in the metal yield and ultimate strength. It is established that after rapid cooling the supersaturation of the solid solution by carbon atoms is absent and the mechanical properties of carbon steel are determined solely by the internal stresses due to ferrite phase hardening and the state of the ferrite–cementite grain boundaries.

1. *Кинетика* распада переохлажденного аустенита стали для железнодорожных колес при непрерывном охлаждении / А. И. Бабаченко, А. В. Кныш, А. А. Кононенко и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. – Днепропетровск: ГВУЗ “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСА)”, 2014. – Вып. 73. – С. 65–69.
2. *Вакуленко І. О.* Структурний аналіз в матеріалознавстві. – Дніпропетровськ: Изд-во Маковецкий Ю. В., 2010. – 124 с.
3. *Гриднев В. Н., Гаврилюк В. Г., Мешков Ю. Я.* Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. – К.: Наук. думка, 1974. – 232 с.
4. *Вакуленко І. А., Большаков В. И.* Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий Ю. В., 2008. – 196 с.
5. *Crist B. W. and Smith G. V.* Comparison of the Hall–Petch parameters of zone-refined iron determined by the grain size and extrapolation methods // Acta Met. – 1967. – **15**, № 5. – P. 809–816.
6. *Rosenfield A. R.* The significance of σ_i the friction stress contribution to the yield point of b.c.c. metals // J. Inst. Met. – 1962–1963. – **91**. – P. 104–117.

Одержано 27.05.2015