

УДК 539.424:669.018.294

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНИХ СТАЛЕЙ

І. М. АНДРЕЙКО, В. В. КУЛИК

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Досліджено вплив високих температур (до 800°C) на механічні характеристики середньо- і високоміцних колісних сталей. Показано, що нижча температура аустенізації і стрімкіший ріст пластичності, зумовлений розчиненням карбідів і карбонітридів ванадію у високоміцній сталі, то сприятливіші умови утворення дефектів типу повзун на поверхні кочення високоміцних коліс (типу КП-Т) порівняно зі середньо-міцними (типу КП-2).

Ключові слова: сталі залізничних коліс, висока температура, міцність, пластичність.

За останні кілька десятиліть зросли тоннажність та швидкість перевезень на залізничному транспорті, проте якість коліс не змінювалася, що призвело до збільшення випадків руйнування колеса від зношування і втомних пошкоджень [1]. Експлуатація недавно запроваджених в Україні високоміцних залізничних коліс (типу КП-Т) на заміну середньо-міцних (типу КП-2) показує, що їх довговічність за критерієм зносо-тривкості вища [2]. Однак при цьому, за даними Укрзалізниці, у низці випадків високоміцні колеса передчасно знімали з експлуатації через утворення на поверхні кочення дефектів типу повзун або вищербина [3] внаслідок термічного впливу та циклічного контактного навантаження, обумовленого, в першу чергу, гальмуванням [4, 5].

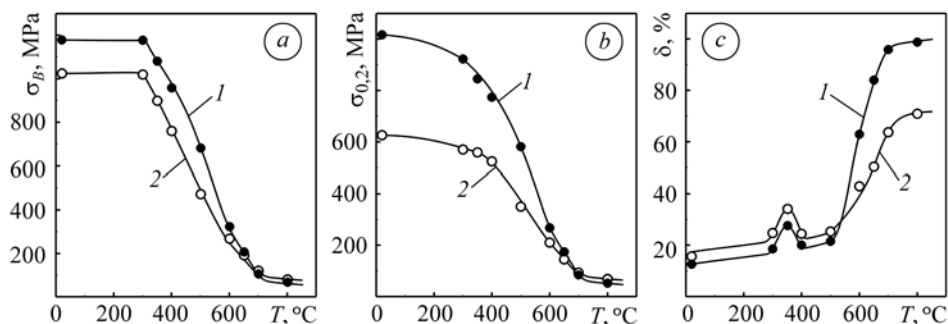
Зростання навантаження на вісь від 16 до 24 тонн спричинює ріст максимального тиску в плямі контакту під час кочення колеса рейкою від 1010 до 1240 МПа, при цьому площа контакту збільшується від 155 до 192 мм² [6]. У випадку проковзування колеса рейкою за високих контактних напружень відбувається суттєвий локальний тепловий нагрів. Показано [4], що під час гальмування поїзда зі швидкістю 0,36 km/h (0,1 m/s) за навантаження на вісь 14 тонн пік температури (920°C) в зоні контакту перевищує температуру аустенізації і досягається він за проміжок часу 0,1 s. Отже, на поверхні кочення колеса під час його проковзування рейкою формується аустенітний шар, що зминається внаслідок пониження механічних властивостей сталі, і утворюється повзун.

Мета роботи – порівняти механічні характеристики сталей високо- та середньо-міцних залізничних коліс залежно від температури випробування.

Матеріал і методика випробувань. Досліджували зразки високоміцної колісної сталі за ТУ У 35.2-23365425-600 наступного хімічного складу (mass.%): 0,66 C; 0,79 Mn; 0,33 Si; 0,2 Cr; 0,105 V; 0,018 P; 0,20 Cu; 0,12 Ni; 0,006 Ti; 0,018 Al; 0,009 S, вирізані з колеса дослідно-промислового виробництва типу КП-Т [2]. Для порівняння даних випробували зразки середньо-міцної сталі (0,58% C; 0,64% Mn; 0,34% Si), вирізані з колеса поточного виробництва типу КП-2 (ГОСТ 10791-2006). Дослідні колеса пройшли зміцнювальну термообробку, шляхом прискореного охолодження ободу на вертикальній гартівній машині з наступним відпуском за технологією, прийнятою на ВАТ “ІНТЕРПАЙП НТЗ” [2].

Короткочасну міцність і пластичність визначали на п'ятикратних циліндричних зразках з діаметром робочої частини 3 mm за температур від 20 до 800°C. Зразки вирізали із зон ободів залізничних коліс, максимально наближених до поверхні кочення.

Результати досліджень та їх обговорення. Отримані температурні залежності границь міцності σ_B і текучості $\sigma_{0,2}$ колісних сталей можна розділити на три ділянки (див. таблицю, графіки *a*, *b* на рисунку): в інтервалі температур випробувань від кімнатної до 300°C, від 300 до 700°C та від 700°C і вище. На першій і третій ділянках маємо тенденцію, коли механічні характеристики мало залежать від температури випробування, на другій спостерігаємо їх традиційне зниження з підвищенням температури. При цьому відзначимо деякі особливості. Починаючи з температури 300°C, зниження границь міцності і особливо текучості (див. графік *a* на рисунку) пришвидшене для сталі високоміцного колеса, так що з досягненням температури випробування близько 700°C вони стають співмірними з відповідними характеристиками сталі середньоміцного колеса. Границі міцності і текучості сталей середньо- та високоміцного коліс знижуються в 8–11 і 7–12 разів відповідно. Початок пришвидшеного зниження границі текучості порівняно з границею міцності для обох досліджуваних сталей у температурному діапазоні 300...400°C співпадає з максимумом температурної залежності відносного видовження δ (див. графік *c* на рисунку). При цьому зміна відносного видовження для обох сталей є не настільки однозначна, як вищенаведені



Залежність границь міцності (*a*), границі текучості (*b*), відносного видовження (*c*) від температури випробувань: 1 – сталь високоміцного колеса; 2 – середньоміцного.

Dependence of ultimate strength (*a*), yield strength (*b*), elongation (*c*) on testing temperature: 1 – high-strength wheel steel; 2 – medium-strength.

Зміна механічних характеристик колісних сталей середньо- (чисельник) та високоміцного (знаменник) коліс

Температура випробування, °C	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %
	MPa		
20	1020 / 1177	626 / 1017	16 / 13
300	1018 / 1176	570 / 923	25 / 18
350	899 / 1080	559 / 845	34 / 28
400	759 / 958	524 / 774	24 / 20
500	472 / 681	350 / 581	25 / 21
600	268 / 322	210 / 268	43 / 63
650	192 / 206	145 / 174	50 / 84
700	119 / 106	93 / 84	64 / 96
800	81 / 70	68 / 52	71 / 99

залежності границь міцності і текучості. Окрім максимуму, за температури 350°C, при 500...525°C починається стрімке зростання відносного видовження, особливо для сталі високоміцного колеса. Якщо до температури випробувань 550°C високоміцна сталь за пластичністю поступається середньоміцній на 4%, то в подальшому зі зростанням температури до 800°C вже переважає на 42% (див. графік *c* на рисунку). Загалом відносно видовження зросло у 4,5 і 7,8 рази відповідно для сталей середньоміцного колеса. Така зміна механічних властивостей досліджуваних сталей обумовлена, в першу чергу, різним вмістом вуглецю в сталях високо- та середньоміцного колеса, який становить 0,66 та 0,58% відповідно, і відтак, визначає нижчу температуру аустенізації високоміцної сталі. Стрімкіше зростання пластичності сталі високоміцного колеса, починаючи з температури 500°C, може бути обумовлене її структурно-фазовим станом. Саме за температури відпуску 500...550°C у сталі високоміцного колеса, мікролегованій ванадієм, відбувається дисперсійне зміцнення [7]. Повторне нагрівання до цієї температури може призвести до розчинення карбідів та карбонітридів ванадію у цій сталі, що сприятиме її пластифікації.

ВИСНОВОК

Отримані температурні залежності механічних характеристик досліджуваних сталей свідчать, що за умов екстрених гальмувань, коли в зоні контакту відбувається суттєве підвищення температури матеріалу, для високоміцних коліс (КП-Т) є сприятливіші умови утворення дефектів типу повзун на поверхні кочення порівняно зі середньоміцними (КП-2).

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние высоких температур (до 800°C) на механические свойства средне- и высокопрочных колесных сталей. Показано, что чем ниже температура аустенизации и более стремительный рост пластичности, обусловленный растворимостью карбидов и карбонитридов ванадия в высокопрочной стали, тем более благоприятные условия образования дефектов типа ползун на поверхности катания высокопрочных колес (типа КП-Т) по сравнению с среднепрочными (типа КП-2).

SUMMARY. The influence of high temperatures (to 800°C) on mechanical characteristics of medium- and high-strength wheel steels is investigated. It is shown that the lower is the austenitization temperature and more sweep increase of plasticity, caused by vanadium carbides and carbonitrides solution in high-strength steel, the more favourable are the conditions of "slide-block" defects formation on the rolling surface of high-strength wheels (type КП-Т) to compare to medium-strength ones (type КП-2).

1. *Stevenot G., Demille F.* L'innovation dans les roués ferroviates et l'volution des march's // *Revue Generale des Chemins de Fer.* – 2002. – № 5. – P. 33–39.
2. *Научная разработка и производственная реализация технологии микролегирования и термоупрочнения высокоизносостойких железнодорожных цельнокатаных колес* / И. Г. Узлов, К. И. Узлов, О. Н. Перков, А. В. Кныш // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб. науч. тр. – 2004. – Вып. 7. – С. 231–243.
3. *Гаврилюк О. Ф.* Безпека руху: шляхи вирішення проблем // *Незрушаючий контроль.* – 2009. – № 1. – С. 9–17.
4. *Frictinal heat-introduced phase transformation on train wheel surface* / Su Hang, Pat Tao, Li Li, et al. // *J. of Iron and Steel Research International.* – 2008. – **15(5)**. – P. 49–56.
5. *Ahlstrom J. and Karlsson B.* Microstructural evaluation and interpretation of the mechanical-ly and thermally affected zone under railway wheel flats // *Wear.* – 1999. – **232**. – P. 1–14.
6. *Zakharov S. M. and Goryacheva I. G.* Rolling contact fatigue defects in freight car wheels // *Wear.* – 2005. – **258**. – P.1142–1147.
7. *Кныш А. В.* Розробка та освоєння технологічних параметрів зміцнюючої обробки високоизносостійких залізничних коліс: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Дніпропетровськ, 2008. – 19 с.

Одержано 09.08.2010