

увазі, що під час тривалого ПФО можуть відбуватися зміни мікроструктури, що тягне за собою зміну механічних властивостей.

Мета статті — дослідження мікромеханізму руйнування та порівняння характеристик міцності, в'язкості і тріщиностійкості високоміцних залізничних коліс, виготовлених з вакуумованої сталі, без та після ПФО.

Матеріал і методики випробувань. Досліджували зразки вакуумованої колісної сталі марки «Т» за ТУ У 35.2-23365425-600 такого хімічного складу, мас. %: 0,66С; 0,79Mn; 0,33Si; 0,2Cr; 0,018P; 0,20Cu; 0,12Ni; 0,006Ti; 0,018Al; 0,009S та 0,105V. Зразки вирізали з ободів залізничних коліс з ПФО та без нього на глибині 30 мм від поверхні кочення. Дослідні колеса пройшли зміцнювальне термооброблення шляхом пришвидженого охолодження обода на вертикальній гартівній машині з наступним відпуском при 500 — 520 °С за технологією, прийнятою на ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Короткочасну міцність і пластичність визначали на п'ятикратних циліндричних зразках з діаметром робочої частини 5 мм. Ударну в'язкість визначали на стандартних зразках з U-подібним надрізом. Твердість виміряли твердоміром ТК-2. Циклічну тріщиностійкість (ЦТ) визначали за діаграмами швидкостей росту втомної макротріщини (залежностями da/dN — ΔK) [7], отриманими на компактних зразках базового розміру $W=40$ мм і товщиною 10 мм за частоти 10...15 Гц і коефіцієнта асиметрії $R = 0,1$ циклу навантаження у повітрі при 20 °С та у парах рідкого азоту при -40 °С. Довжину втомної тріщини виміряли катетрометром КМ-6 за 25-кратного збільшення з точністю $\pm 0,02$ мм. За характеристику ЦТ матеріалів вибрано циклічну в'язкість руйнування ΔK_{fc} , яку встановлено за розмахом ΔK , коли втомна тріщина росте спонтанно (стрілки на рис. 1). Для мікрофрактографічного аналізу зразків використовували сканувальний електронний мікроскоп Zeiss – EVO40XVP.

Результати досліджень та їх обговорення. За стандартними механічними характеристиками, зокрема міцністю, пластичністю та ударною в'язкістю, колісна сталь після вакуумування навіть дещо переважає сталь, яку додатково піддавали ПФО (табл. 1). Проте такі відмінності можуть бути пов'язані з розкидом даних про механічні характеристики сталей різних коліс.

Діаграми швидкостей росту втомної макротріщини показують, що колісна сталь після вакуумування не поступається такій же після вакуумування та ПФО (рис. 1). За

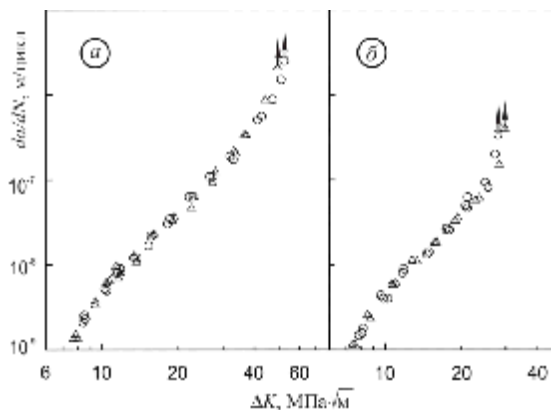


Рис. 1. Діаграми швидкостей втомної макротріщини у високоміцній колісній сталі: □ – вакуумування; △ – вакуумування і протифлокене оброблення; температура випробування 20 °С (а) та -40 °С (б)

кімнатної температури вони практично ідентичні як за пороговими значеннями ЦТ, так і за її критичними значеннями — циклічною в'язкістю руйнування (рис. 1,а). Відомо, що схильність до крихкого руйнування зростає в умовах експлуатації коліс при низьких температурах, особливо у високоамплітудній області навантаження внаслідок явища холодноламокості, яка притаманна вуглецевим сталям [8]. Проте, як свідчать діаграми швидкостей росту втомної макротріщини за низької температури (-40°С), характеристики ЦТ обох сталей не залежать від додаткового проведення ПФО (рис. 1,б, табл. 1).

Мікрофрактографічний аналіз показує, що в обох сталях за середніх розмахів ΔK механізм руйнування достатньо енергоємний. У зламі чітко виражені деформаційні гребені внаслідок в'язкого руйнування окремих мікрооб'ємів сталей, хоча зафіксовано череззеренні квазівідкольні фасетки та вторинні мікротріщини (рис. 2,а,б). Відмітимо, що після вакуумування та вакуумування і ПФО кількість цих мікротріщин сумірна.

За високих розмахів ΔK у сталі після вакуумування та вакуумування і ПФО відзначено домінування фасеток череззеренного відколу, також спостерігали окремі фасетки міжзеренного відколу і деформаційні гребені (рис. 2,в,г). Таким чином, мікромеханізм їх втомного руйнування загалом подібний, а однакові значення циклічної в'язкості руйнування ΔK_{fc} (див. табл. 1) є підтвердженням цього. Потрібно відзначити, що при побу-

Таблиця 1

Механічні властивості ободів залізничних коліс

Оброблення	Границя міцності σ_b , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження Ψ , %	Твердість, НВ	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²	Циклічна в'язкість руйнування ΔK_{fc} , МПа·√л	
						20 °С	-40 °С
В	1200	11	16	337	21	52	29
В+ПФО	1190	9	14	348	18	50	30

Примітка: В — вакуумування; В+ПФО — вакуумування і протифлокене оброблення; в таблиці подано середні значення, отримані на 3 — 5 зразках.

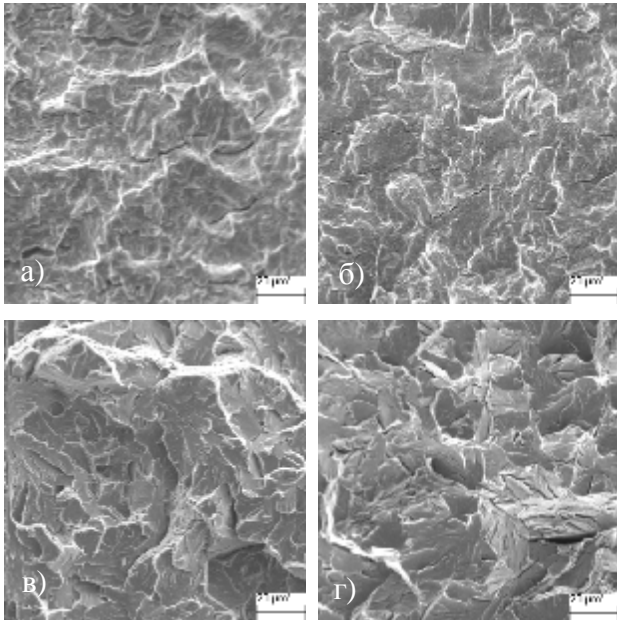


Рис. 2. Мікрофрактограми зразків сталі після вакуумування (а, в) та вакуумування і протифлокеного оброблення (б, г); субкритичний (а, б) та спонтанний (в, г) ріст втомної тріщини за температури 20 °С

дові діаграм швидкостей росту втомної макротріщини зона досліджень є доволі протяжною (до 20 мм), проте локальних ділянок пришвидшеного росту тріщини, пов'язаного з флоками, не виявлено. На відповідних втомних зламах зразків також відсутні мікрофрактографічні особливості, які можна було б пов'язати з флоками.

Висновок. Встановлено, що за характеристиками міцності, твердості, ударної в'язкості та циклічної в'язкості руйнування (за кімнатної і низької температур) залізничних коліс, виготовлених з вакуумованої сталі, з ПФО та без нього практично не відрізняються. На мікрофрактограмах зразків флокенів не виявлено.

Таким чином, обґрунтована недоцільність проведення трудомісткого й енергозатратного ПФО цих виробів.

Література

1. Склюев П.В. Водород и флоконы в крупных поковках. — М.: Машгиз, 1963. — 188 с.

2. Температурные условия охлаждения цельнокатаных колес, обеспечивающие снижение в них флоконообразования / И.Г. Узлов, С.И. Лавренко, Г.С. Морозова и др. // Термическое упрочнение проката (№37). — М.: Металлургия, 1970. — С. 36—39.

3. Большаков В.И., Долженков И.Е., Долженков В.И. Термическая обработка стали и металлопроката. — Днепропетровск: Gaudeamus, 2002. — 272 с.

4. Современные тенденции производства железнодорожных колес и влияние внепечной обработки стали на их свойства / В.В. Тягний, А.П. Стовпченко, Л.В. Чуприна и др. // Металлург. — 2006. — №8. — С. 56—60.

5. Большаков В.И., Долженков И.Е., Долженков В.И. Технология термической и комбинированной обработки металлопродукции. — Днепропетровск: Gaudeamus, 2002. — 390 с.

6. Способ изготовления железнодорожных колес и бандажей из вакуумированной стали / А.М. Шегусов, А.М. Дьяков, В.Д. Шестаков и др. — Патент Российской Федерации № 2072275, 27.01.1997.

7. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пос. в 4-х т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. — К.: Наук. думка, 1988-1990. — Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романив, С.Я. Ярема, Г.Н. Никифорчин и др. — 1990. — 680 с.

8. Низькотемпературна циклічна тріщиностійкість сталей залізничних коліс / О.П. Остащ, І.М. Андрейко, В.В. Кулик та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. — 2008. — №4. — С. 52—57.

Отримана 26.08.08

O. Babachenko¹, O. Ostash², I. Andreiko², V. Kulyk², G. Kononenko¹
Resistance to brittle failure of the vacuumed wheel steel

¹Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk

²Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

Mechanical properties of railway wheels after and without antiflocced heat treatment (AFT) made from vacuumed and microalloyed by vanadium steel has been investigated. Static strength and plasticity, hardness, impact toughness and fatigue crack growth resistance (at temperatures 20 °C and -40 °C) are determined. The failure micromechanism and mechanical characteristics of wheel steels after and without AFT are similar.

21 01 01 2009

AEROACOUSTICS

March 2009, Munich, Germany

Contact: Prof. Dr.-Ing. Michael Manhart

Fachgebiet Hydromechanik

Arcisstraße 21, 80333 München, Germany

Ph: +49 (0) 89 289 22583

Fax: +49 (0) 89 289 28332; e-mail: m.manhart@bv.tum.de