

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ), О. Н. ПЕРКОВ (ИЧМ НАНУ)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА УПРОЧНЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

Наведені результати дослідження впливу параметрів термомеханічного зміцнення на структуру, комплекс фізико-механічних та службових властивостей зміцнених залізничних коліс.

Приведены результаты исследования влияния параметров термомеханического упрочнения на структуру, комплекс физико-механических и служебных свойств упрочненных железнодорожных колес.

The results of research of influence of parameters of thermomechanical hardening on the structure, complex of physico-mechanical and service properties of hardened railway wheels are presented.

Прогрессирующее повышение скоростей движения железнодорожного транспорта, совместно с ростом удельных нагрузок на ось, сопровождается неизбежным повышением требований к комплексу свойств металла. По сравнению со статической схемой нагружения достаточно высокое значение приобретают динамические нагрузки, которые возникают в определенных местах элементов подвижного состава, что в свою очередь связано с условиями их эксплуатации.

Одной из указанных характеристик является ударная вязкость, которая позволяет оценивать процессы зарождения и роста трещин в металле, как в зависимости от структурного состояния, так и от конструктивных особенностей изделия, например, в местах сопряжения диск-обод железнодорожного колеса. Приведенные положения подтверждают данные по разрушению диска вблизи мест перехода от диска к ободу на внутренней поверхности колеса [1].

Кроме структурного состояния металла, сопротивление распространению трещин в значительной степени обусловлено уровнем и схемой распределения внутренних остаточных напряжений в ободе колеса. На основании многочисленных исследований установлено, что формирование тангенциальных остаточных растягивающих напряжений в ободе является наиболее неблагоприятным напряженным состоянием металла с низким сопротивлением распространяющимся трещинам.

Целью работы явилась оценка влияния принудительного охлаждения элементов железнодорожного колеса на комплекс свойств металла.

Материалом для исследования служили железнодорожные колеса производства Нижнеднепровского трубопрокатного завода, диамет-

ром 957 мм из стали с 0.58 % С и 0.78 % Мп. Колеса перед термической обработкой обтачивали на номинальные размеры по ГОСТ 9036 (толщина диска в месте перехода в обод составляла 17 мм, в ступицу – 24 мм). Колеса нагревали в печи с температурой 850 °С в течение 2.5 ч. После этого ободья всех колес прерывисто охлаждали в закалочной машине в течение 140 с, с интенсивностью подачи воды 0.08...0.15 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с). При этом диск и места его перехода в обод и ступицу охлаждали с интенсивностью подачи воды 0.10 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с) в течение 12 с. Заключительная операция – отпуск при 500 °С в течение 2.5 ч. Для испытаний вырезались образцы из мест перехода диска в обод. Свойства металла определяли при статическом растяжении и динамическом ударном изгибе. Уровень и знак остаточных напряжений определяли по ГОСТ 9036.

По сравнению с охлаждением на воздухе, когда в металле железнодорожного колеса формируется феррито-перлитная структура, использование принудительного охлаждения различной интенсивности позволяет за счет диспергирования структурных составляющих, изменения их морфологии достигнуть повышения комплекса свойств, особенно сопротивления хрупкому разрушению. Как показали исследования, наблюдаемое изменение свойств обусловлено не столько диспергированием структуры, сколько уменьшением объемной доли структурно-свободного феррита. Кроме этого, определенное значение приобретает гомогенности внутреннего строения металла, приводя к более равномерному сопротивлению росту зародившейся трещины. Более того, по сравнению со структурным состоянием металла, определенное влияние на конструктивную прочность колеса в целом оказывают особенно-

сти строения его элементов, например, геометрические размеры мест сопряжения и т.д. Различное сечение металла в элементах колеса (диск, ступица, обод), с учетом напряженного состояния при его эксплуатации указывают, что наиболее благоприятным с точки зрения несущей способности было бы достижение одинакового уровня действующих напряжений. В этом случае дифференцированное охлаждение является одним из наиболее эффективных технологических решений, которое позволяет в широком диапазоне изменять структурное состояние металла и достигаемый комплекс свойств в элементах колеса.

Анализ разрушений железнодорожных колес показывает, что одним из наиболее вероятных мест зарождения усталостных трещин, при повышении скорости движения транспорта и нагрузки на ось, являются места перехода от диска к ободу. На основании этого можно ожидать, что подвергая указанные объемы металла локальному упрочнению, станет возможным достигнуть прироста сопротивления хрупкому разрушению. Так, по сравнению с дробеструйным упрочнением, когда за счет наклепа поверхности металла вводится дополнительное количество подвижных дефектов кристаллического строения, использование ускоренного охлаждения также упрочняет металл, однако достигаемое влияние на свойства несколько иное. Действительно, если учесть, что при развитии структурных превращений по промежуточному механизму [2], когда формирование сдвиговых структур составляет определенную долю, а дефекты вводятся преимущественно одного знака [3], трудности в развитии аннигиляционных процессов при самоотпуске способствуют сохранению высоких уровней прочности даже после относительно высоких температур нагрева. В этом случае достижение высоких уровней сопротивления малым пластическим деформациям и релаксационной стойкости обусловлено, в первую очередь, возникновением неподвижных комплексов из введенных дефектов, наподобие дислокационных ячеистых структур [4].

Приведенное объяснение было проверено при изучении структурных изменений в процессе термического упрочнения железнодорожных колес. Так, подвергая охлаждению колеса с интенсивностью подачи охладителя 0.08-0.12 м/с на места перехода от диска к ободу, была достигнута толщина упрочненного слоя до 0.2 от сечения диска. При этом скорости охлаждения, которая находилась в интерва-

ле 30...60 град/с, было вполне достаточно, чтобы обеспечить формирование бейнитной структуры (рис. 1) с последующим самоотпуском.

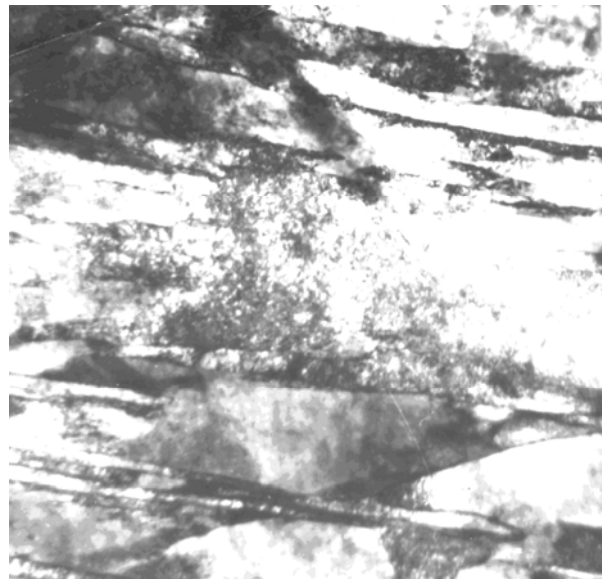


Рис.1. Бейнитная структура в среднеуглеродистой стали, увеличение 40000)

Увеличение расхода охладителя выше значений 0.12 м/с приводило к охлаждению поверхностных слоев диска до температур вблизи, а то и даже ниже начала мартенситного превращения. В этом случае снижение температуры не обеспечивало при последующем отогреве достигнуть интервала температур отпуска 600...650 °С, при которых формируется зернистая структура требуемой дисперсности с повышенным градиентом внутренних напряжений при переходе от поверхности к середине диска. В дополнение к этому избыточная толщина упрочненного слоя приводит к снижению уровня ударной вязкости диска.

При уменьшении интенсивности подачи охладителя менее 0.08 м/с вблизи поверхностного слоя начинает формироваться структура с пластинчатым строением карбидной фазы, которая не способствует приросту хладостойкости металла.

Кроме интенсивности охлаждения элементов колеса, определенное влияние на комплекс свойств оказывает длительность процесса. Так, при длительности охлаждения 15 с, когда интенсивность подачи охладителя находится в оптимальном интервале значений (0.08...0.12 м/с), обеспечивается поддержание требуемого перепада температур между ободом и диском и, как следствие этого, достигается необходимый уровень сжимающих остаточных напряжений в ободе колеса.

При длительности охлаждения менее 10 с, равно как при интенсивности охлаждения менее 0.08 м/с, в поверхностном слое диска и местах его перехода формируется структура со значительной долей перлита (рис.2), не обеспечивающая значений ударной вязкости, особенно при отрицательных температурах.



Рис.2. Структура стали после охлаждения 0.1 м/с длительностью 8 с, увеличение 2000

Проведенные опробования предлагаемых режимов термической обработки на серийно изготовленных в колесопрокатном цехе железнодорожных колесах показали достижение достаточно высокого комплекса свойств: временного сопротивления разрыву 880 Н/мм<sup>2</sup>, относительного сужения и удлинения 49 и 19 %, ударной вязкости 0.8, 0.4 и 0.3 МДж/м<sup>2</sup> при +20, -20 и -40 °С, соответственно. Остаточные напряжения, оцененные по сходимости концов

разрезанного колеса, соответствовали требованиям ГОСТ 9036.

На основании проведенных исследований установлено, что прирост ударной вязкости металла в поверхностном слое диска на 10...15 % и, особенно в местах сопряжения с ободом и ступицей, обеспечивается принудительным охлаждением элементов колеса, которое позволяет достигнуть требуемого структурного состояния. Окончательный отпуск всего колеса при температурах 480...520 °С способствует дополнительному снижению внутренних напряжений, которые связаны с конструктивными особенностями колеса и различным сечением его элементов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. Большаков В. И. Переориентированные структуры в углеродистых сталях / В. И. Большаков, И. А. Вакуленко – Д.: ПГАСиА, 2005. – 100 с.
3. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
4. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gandeamus, 2003. – 94 с.

Поступила в редколлегию 22.01.2008.