

И.Г. Узлов, А.И.Бабаченко, А.А.Кононенко, Ж.А.Дементьева.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА КОЛЕСНОЙ ЗАГОТОВКИ И РЕЖИМОВ ЕЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

Проведены исследования влияния размера колесной заготовки и изменения схемы ее деформации на механические свойства железнодорожных колес. Показано, что повышение прорабатываемости металла обода колеса приводит к повышению его плотности дендритной структуры, что в свою очередь, оказывает положительное влияние на ударную вязкость и вязкость разрушения K_{1C} железнодорожных колес.

Современное состояние вопроса.

Железнодорожные колеса являются наиболее интенсивно нагружаемым элементом подвижного состава, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию статических, циклических и динамических сил, а также тепловому воздействию при торможении. Ужесточение условий их эксплуатации, повышение твердости ободьев колес требует применения для оценки эксплуатационной надежности этого вида металлопроката все большего количества механических характеристик. Наряду с традиционными показателями, такими как временное сопротивление разрыву, твердость, относительное удлинение, относительное сужение и ударная вязкость в последнее время все больше внимания уделяется таким характеристикам, как усталостная прочность и трещиностойкость. Основным критерием трещиностойкости железнодорожных колес в настоящее время был выбран критический коэффициент интенсивности напряжения K_{1C} , который характеризует статическое напряжение в устье трещины заданной длины, при достижении которого происходит ее лавинообразное развитие.

Ранее проведенными исследованиями [1, 2] установлено, что вязкость разрушения K_{1C} среднеуглеродистых сталей является структурно чувствительной характеристикой. Основными структурными параметрами, определяющими уровень значений K_{1C} этих сталей, являются величина действительного зерна, дисперсность продуктов диффузионного распада аустенита, количество и характер распределения структурно свободного феррита. В работе [3] было показано, что одним из основных технологических параметров, определяющих уровень вязкости разрушения K_{1C} железнодорожных колес, является скорость охлаждения их ободьев при термической обработке. Путем оптимизации режимов термической обработки возможно получение в колесах высокого уровня вязкости разрушения K_{1C} при сохранении необходимых показателей прочности и пластичности.

Однако в настоящее время многими исследователями показано, что для достижения все ужесточающихся требований по механическим свой-

ствам железнодорожных колес необходима оптимизация технологии их производства не только на этапе термической обработки, но и на более ранних переделах, в частности на стадии горячей пластической деформации колесной заготовки на прессопрокатной линии колесопрокатного цеха.

Цель работы. В связи с этим целью настоящей работы было исследование влияния режимов деформационной обработки колесной заготовки на служебные свойства железнодорожных колес.

Изложение основных материалов исследования.

В работе были исследованы четыре варианта деформационной обработки колесной заготовки, которая проводилась в условиях колесопрокатного цеха ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод»: вариант 1 – заготовка Ø482 мм, действующая технология горячей пластической деформации колесной заготовки; вариант 2 – заготовка Ø415мм, действующая технология; вариант 3 – заготовка Ø482мм, опытная технология; вариант 4 – заготовка Ø415мм, опытная технология. Опытная технология горячей пластической деформации отличалась от текущей изменением схемы деформации заготовки на одном из агрегатов прессопрокатной линии (в частности на прессе 50МН).

Материалом для исследований была выбрана вакуумированная мартеновская колесная сталь марки КП–2 по ГОСТ 10791–89, производства ОАО «НТЗ», разлитая в слитки диаметром 482 и 415мм. Химический состав исследуемой стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 Химический состав исследуемой стали

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
КП–2	0,57	0,66	0,30	0,010	0,009	0,04	0,04	0,040	0,021

Из указанной стали в условиях колесопрокатного цеха ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод» были прокатаны железнодорожные колеса диаметром 957 мм с последующей их термической обработкой по существующей технологии (т.е. закалка с отдельного нагрева на вертикальной закалочной машине с последующим отпуском).

В работе были проведены исследования служебных свойств железнодорожных колес, а также макро– и микроструктуры металла их ободьев после указанных выше вариантов горячей пластической деформации колесной заготовки.

Исследования механических свойств при статическом растяжении проводились на цилиндрических образцах Ø15 мм. Геометрические размеры образцов и схема отбора проб из обода колеса соответствует требованиям ГОСТ 10791–89. Определение ударной вязкости проводили на призматических образцах размером 10×10×55 мм с U–образным надрезом глубиной 2мм по UIC 812.3 (т.к. требованиями ныне действующего стан-

дарта ГОСТ 10791–89 не предусмотрено определение ударной вязкости на образцах из обода). Также из ободьев опытных колес были отобраны пробы и изготовлены образцы на вязкость разрушения. Отбор проб производился в соответствии с требованиями стандарта Международного союза железных дорог UIC 812.3. Методика определения вязкости разрушения железнодорожных колес разработана сотрудниками Института черной металлургии НАН Украины при непосредственном участии специалистов ОАО «НТЗ». В настоящее время она успешно применяется на этом предприятии при проведении сдаточных испытаний. Основные положения этой методики изложены в работе [4].

Для выявления макроструктуры металла исследуемых колес применялось горячее травление ($t=60-70^{\circ}\text{C}$) в 50% растворе соляной кислоты радиальных темплетов. Первичную структуру выявляли путем травления пикратом натрия. Анализ макроструктуры по сечению обода колеса показал, что применение опытной технологии горячей деформации колесной заготовки приводит к изменению морфологии и плотности дендритной структуры только в поверхностных слоях обода (наружная, внутренняя боковые поверхности обода и его поверхность катания) на глубину $\sim 18\text{мм}$. Применение заготовки диаметром 415мм вместо 482мм ведет, как показали исследования макроструктуры, к повышению плотности и дисперсности волокон макроструктуры внутренних слоев обода. При этом суммарная величина накопленной деформации в ободке колеса при изменении только диаметра заготовки или только технологии производства увеличивается на одну и ту же величину (11–13%) [5].

Результаты механических испытаний опытных колес представлены в табл.2. Из таблицы следует, что применение опытной технологии горячей пластической деформации колесной заготовки не оказывает существенного влияния на предел прочности, относительное удлинение и относительное сужение. В то же время изменение схемы деформации заготовки на прессе 50 МН (опытная технология), не зависимо от диаметра заготовки, оказывает положительное влияние на ударную вязкость образцов, вырезанных из обода, повышая ее значения на 12–13%.

Учитывая то, что отбор проб для образцов на ударную вязкость производился из поверхностных слоев обода, можно утверждать, что положительное влияние опытной технологии горячей пластической деформации колесной заготовки на ударную вязкость связана с изменением макроструктуры этих слоев. Изменение плотности дендритной структуры центральной части обода при изменении размера заготовки не могло оказывать влияние на ударную вязкость, что и следует из результатов исследований (табл.2).

В этой связи представляет интерес исследовать влияния режимов деформационной обработки колесной заготовки на одну из наиболее важных характеристик служебных свойств железнодорожных колес вязкость разрушения K_{1C} .

Таблица 2. Механические свойства исследуемых железнодорожных колес

	Предел прочности σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение φ , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²
Вариант 1	989	15,4	42,5	43,4
Вариант 2	995	14,7	41,2	42,3
Вариант 3	1008	15,1	40,8	48,5
Вариант 4	1007	15,5	44,0	47,9

Геометрические размеры пробы для определения этой характеристики (толщина 30мм) обеспечивают присутствие в сечении этого образца как поверхностных слоев обода (на глубину ~ 18мм), так и его внутренних участков. Схема вырезки образца на вязкость разрушения толщиной 30мм из обода колеса $\varnothing 957$ мм (ширина обода 135мм) представлена на рис.1.

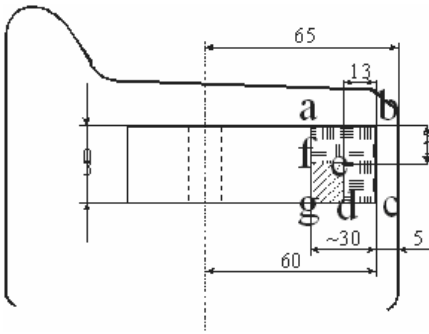


Рис.1. Схема вырезки образца для испытаний на вязкость разрушения

Путем несложных математических расчетов с использованием данных представленных на рис.1, было определено, что в рабочем сечении образца (фигура abcg) доля площади, соответствующей наружному (фигура abcdef) и внутреннему (фигура gfed) слоям обода составляет соответственно 72% и 28%. С учетом этих данных, а также средней плотности дендритной структуры каждого из исследуемых участков обода (внутреннего и наружного слоев) было определено среднее приведенное значение плотности дендритной структуры рабочего сечения образца.

На рис.2 представлена зависимость вязкости разрушения K_{1c} железнодорожных колес от среднего приведенного значения плотности дендритной структуры рабочего сечения образца. Из этой зависимости следует, что повышение плотности дендритной структуры в ободу колеса оказывает положительное влияние на его вязкость разрушения K_{1c} , причем эта закономерность наблюдается как для горячекатаного, так и для термически упрочненного состояния. Не зависимо от вариантов горячей пластической деформации, ускоренное охлаждение ободьев колес с отдельного нагрева оказывает положительное влияние на ее вязкость разрушения K_{1c} .

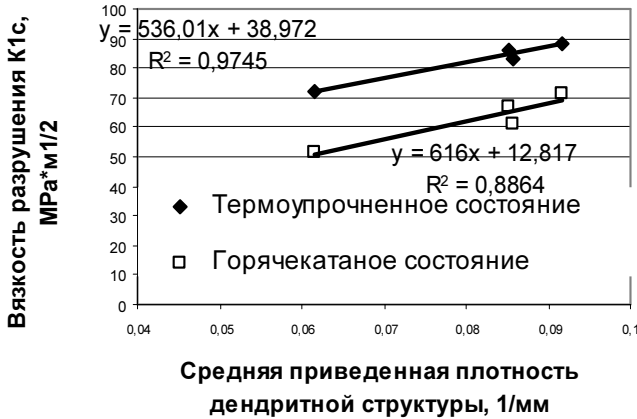


Рис.2. Влияние плотности дендритной структуры на вязкость разрушения колесной стали

Анализ микроструктуры исследуемой стали во взаимосвязи с ее макроструктурой показывает, что повышение плот-

ности дендритной структуры ведет к формированию более мелкозернистой структуры в исследуемой стали. Например, при средней плотности дендритной структуры поверхностного и внутреннего слоя обода колеса (режим 2) равной соответственно 0,081192 и 0,095636 их средний размер действительного зерна составляет соответственно 0,10888мм и 0,241208мм для горячекатаного состояния (рис. 3 и 4).

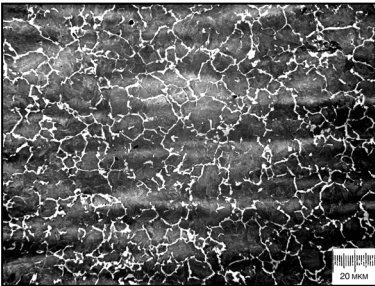
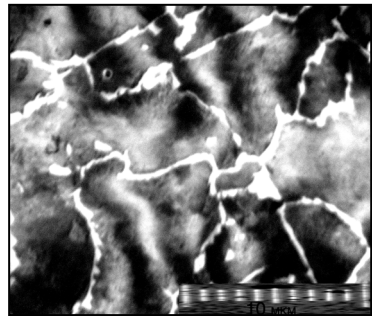


Рис.3. Микроструктура поверхностного слоя обода колеса после деформации заготовки по режиму 2. Травлено пикратом натрия.

Рис.4. Микроструктура внутреннего слоя обода колеса после деформации заготовки по режиму 2. Травлено пикратом натрия.



Выводы.

Таким образом, результаты исследований показали, что повышение степени деформационной проработки обода железнодорожного колеса (возрастание величины накопленной деформации) при горячей пластической деформации колесной заготовки приводит к формированию в нем более плотной дендритной структуры, которая, не оказывая влияние на статические ха-

рактические характеристики прочности и пластичности, положительно влияет на сопротивление колесной стали хрупкому разрушению. Это выражается в повышении таких служебных характеристик железнодорожных колес как ударная вязкость и вязкость разрушения K_{1c} .

1. *Металл и литье Украины* / И.Г.Узлов, А.И.Бабаченко, Н.А.Умеренкова и др.– 1998.–№1–2.–С.41–43.
2. *Вязкость* разрушения среднеуглеродистой колесной стали в различных структурных состояниях / И.Г.Узлов, Л.А.Моисеева, Н.Г.Мирошниченко и др. // *Сталь*. – №4. – 1996. – С.51–54.
3. *Узлов И.Г., Бабаченко А.И., Умеренкова Н.А.* Исследование влияния термического упрочнения среднеуглеродистых сталей на вязкость разрушения. // *Сталь*. – №5. – 1997. – С.57–60.
4. *Узлов И.Г., Умеренкова Н.А., Бабаченко А.И.* Методика определения вязкости разрушения материала железнодорожных колес.// *Завод. лаб.* – 1996.– №7.– С.36–37.
5. *Исследование* влияния деформационной обработки колесной заготовки на механические свойства железнодорожных колес / И.Г.Узлов, А.И.Бабаченко, А.В.Шрамко и др. // *Металл и литье Украины*.–№9–10.– 2005.– С.43–46.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. С.М.Жучковым