

И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.Н.Хулин, Ж.А.Дементьева

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА БАНДАЖНОЙ СТАЛИ НА ЕЁ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Изучены механические свойства различных способов производства бандажной стали. Показано, что твердость 325...350 НВ в углеродистой и микролегированной ванадием стали обеспечивается различными структурными состояниями. Установлено, что при твердости 325...350 НВ наибольшим запасом ударной вязкости как при комнатной, так и при отрицательных температурах обладает микролегированная ванадием вакуумированная сталь марки «Т» по ТУ У 35.2–23365425–641:2009.

бандажная сталь, способ производства стали, механические свойства, твердость, структурное состояние

Современное состояние вопроса. В настоящее время в Украине сталь для локомотивных бандажей производится из углеродистой стали марки «2» по ГОСТ 398–96 [1]. Сотрудниками ИЧМ НАНУ и ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» разработана бандажная сталь марки «Т» по ТУ У 35.2–23365425–641:2009 [2], технологией производства которой предусмотрено её микролегирование ванадием. Вместе с тем в промышленной практике сталь для локомотивных бандажей может производиться с вакуумированием и без него.

Цель работы. Целью настоящей работы являлось изучить влияние способа производства бандажной стали на её механические свойства при твердостях 275, 300 НВ (твердость серийных бандажей), а также 325–350 НВ (оптимальная твердость бандажной стали с точки зрения её износостойкости [3]).

Материал и методика исследований. Материалом для исследований послужили стали различных способов производства, близкие между собой по содержанию углерода, кремния и марганца. Химический состав исследуемых сталей и требования [1, 2] к нему приведены в табл.1. Заготовки образцов, указанных в таблице 1 сталей, были термически упрочнены в соляной ванне на уровни твердости 275, 300, 325, 350НВ.

Изложение основных материалов исследования. Результаты испытаний на растяжение приведены на рис. 1–3. Как видно из рисунков, все три исследуемые стали при повышении твердости от 275 до 350 НВ ведут себя идентично – их предел прочности непрерывно возрастает от 977–1007 МПа до 1138–1147 МПа. Пластические характеристики при этом несколько снижаются. Относительное удлинение (δ_5) изменяется от 17,4–16,8 % до 11,8–13,4 %. Относительное сужение (ψ) понижается от 46,8–47,8 % до 40,4–42,9 %. Несмотря на некоторое снижение пластических характеристик бандажной стали при повышении твердости до уровня 350НВ, полученный уровень свойств надежно обеспечивает требования нормативных

документов [1, 2] к соответствующим показателям: δ_5 – не менее 10 % для марки «2», для марки «Т»– не менее 8 %; ψ – не менее 14 % для марки «2», для марки «Т»– не менее 12 %.

Таблица 1– Химический состав исследуемых сталей и требования к нему нормативной документации

Марка стали (норм. док–т)/ исследуемая сталь	Содержание элементов, %, по массе					
	C	Si	Mn	V	P	S
					Не более	
«2» (ГОСТ 398–96)	0,57– 0,65	0,22– 0,45	0,60 – 0,90	0,00– 0,15	0,035	0,04
«Т» (ТУ У 35.2–23365425– 641:2009)	0,60– 0,68	≤0,40	0,70 – 0,90	0,08– 0,15	0,025	0,02
«2» без вакуумирования	0,62	0,40	0,81	0,00	0,009	0,012
«2» с вакуумированием	0,62	0,33	0,72	0,00	0,014	0,010
«Т» с вакуумированием	0,63	0,32	0,72	0,094	0,012	0,012

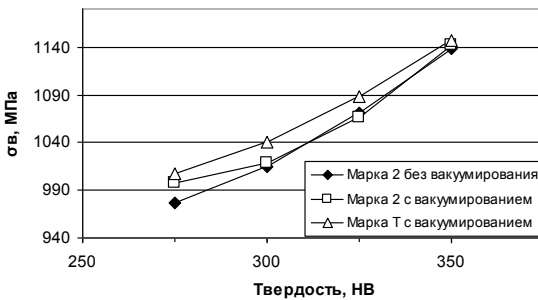


Рис. 1. Зависимость предела прочности бандажной стали от её твердости

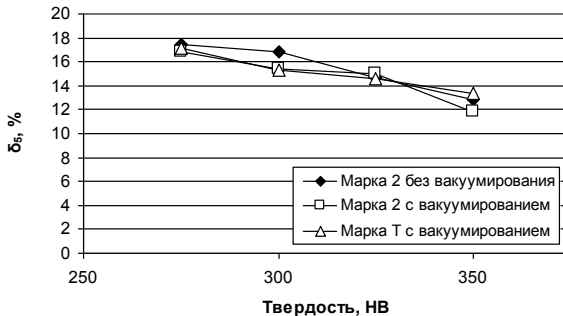


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения бандажной стали от её твердости

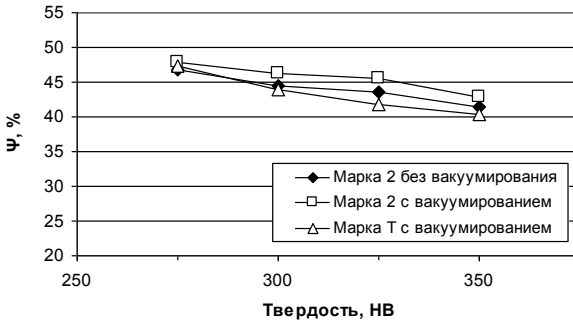


Рис.3. Зависимость относительного сужения бандажной стали от её твердости

Испытания на ударный изгиб при $+20^{\circ}\text{C}$ образцов с мягким надрезом показали следующее: при твердости 275...300 НВ все исследуемые стали обладают высоким уровнем ударной вязкости, практически в два раза превышая требования [1, 2]: для марок «2», «Т» соответственно не менее 25, 20 Дж/см². Однако при повышении твердости до 325...350 НВ для марки «2» происходит заметное снижение ударной вязкости. У марки «Т» вязкие характеристики остаются практически на том же уровне, как и при 275–300 НВ (рис. 4). Установленную закономерность можно объяснить принципиально различным структурным состоянием металла, обеспечивающим соответствующие равные уровни твердости сталей БЛ2 и БЛТ (рис. 5).

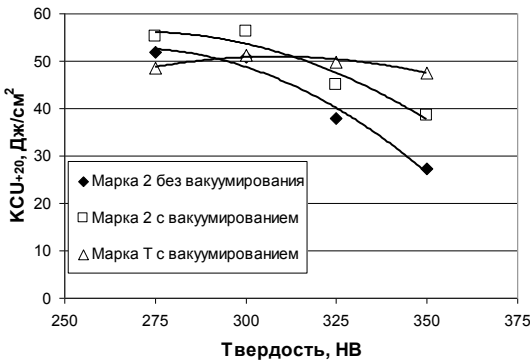
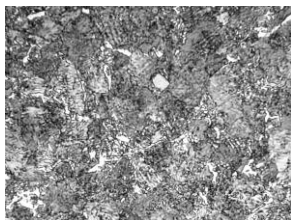


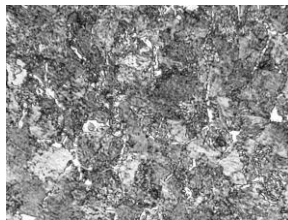
Рис.4. Зависимость ударной вязкости при $+20^{\circ}\text{C}$ бандажной стали от её твердости

При твердостях 275...300 НВ углеродистая и микролегированная стали имеют перлитную структуру с некоторым количеством структурно свободного феррита (рис. 5, а, б, д, е). При твердости 325...350 НВ в стали марки «2» появляется более хрупкая, чем перлит, структурная составляющая – мартенсит (рис. 5, в, г), чем и объясняется снижение вязких характеристик углеродистой стали при этой твердости. В то же время микроле-

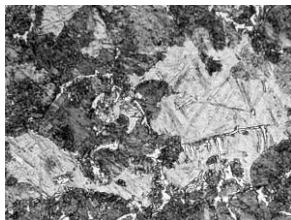
гированная сталь при твердости 325 НВ обладает структурой высокодисперсного перлита практически без полиэдрического феррита (рис. 5, ж); а твердость 350 НВ в этой стали обеспечивается формированием перлитобейнитной структуры с мелкозернистым игольчатым (бейнитным) ферритом.



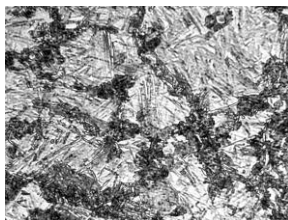
а)



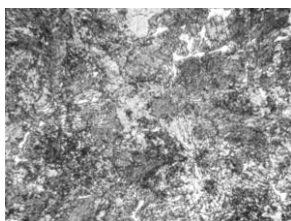
б)



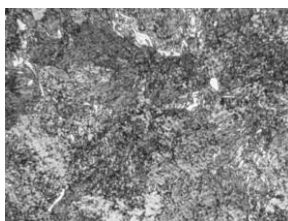
в)



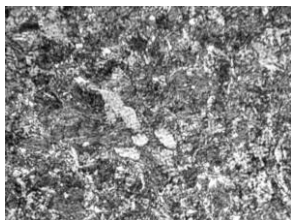
г)



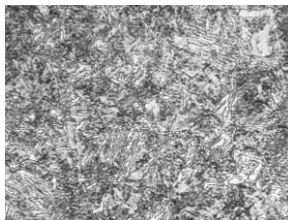
д)



е)



ж)



з)

Рис.5. Микроструктура исследуемых сталей ($\times 1000$): а–г марка «2»; д–з марка «Т»; а, д– 275 НВ; б, е– 300 НВ; в, ж– 325 НВ; г, з– 350 НВ.

Ранее [4] нами было установлено положительное влияние такой структуры как на прочностные, так и на вязкие свойства металла. Следует отметить также, что вакуумированная сталь марки «2» обладает более высокой ударной вязкостью по сравнению с невакуумированной сталью той же марки во всём интервале исследуемых твердостей, что согласуется с литературными данными [5] (рис. 4). В случае невакуумированной стали марки «2», её вязкие характеристики при твердости 350 НВ снижаются до значения $27,2 \text{ Дж/см}^2$ при требовании ГОСТ 398–96 не менее 25 Дж/см^2 , что находится на грани допустимых требований нормативной документации на соответствующий вид продукции.

Поскольку локомотивные бандажи являются изделиями, которые эксплуатируются как при положительных температурах, так и при отрицательных, то принципиальным является исследование ударной вязкости бандажной стали различных способов производства при отрицательных температурах (рис. 6–8).

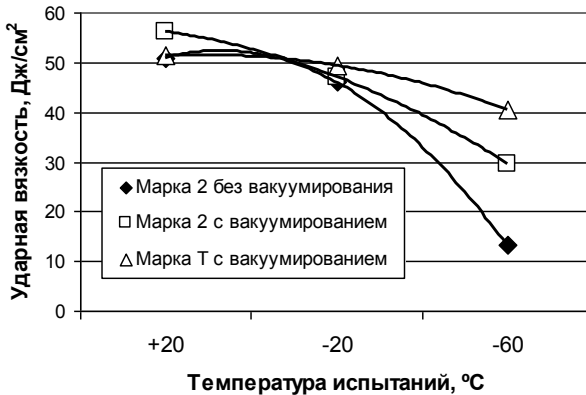


Рис.6. Ударная вязкость бандажной стали при термическом упрочнении на уровень твердости 300 НВ

Как видно из рис.6, поведение всех исследуемых сталей с твердостью 300 НВ в интервале температур $+20 \dots -20^\circ\text{C}$ одинаково — ударная вязкость снижается незначительно, значения ударной вязкости для каждой стали практически одинаковые; в интервале $-20 \dots -60^\circ\text{C}$ сталь марки «2» без вакуумирования демонстрирует резкое снижение вязкости. Вакуумированная сталь той же марки и твердости при -60°C имеет более высокий запас вязких характеристик; дополнительное микролегирование ванадием стали после вакуумной дегазации позволяет повысить её ударную вязкость в этом интервале температур, показывая при -60°C максимальное значение ударной вязкости из исследованных сталей $40,5 \text{ Дж/см}^2$. Повышенную ударную вязкость при отрицательных температурах стали с ванадием в сравнении с углеродистой сталью с такой же твердостью наблюдали и авторы [6]. При твердости 325–350 НВ вакуумированная и микролегированная ванадием сталь марки «Т» (ТУ У 35.2–23365425–641:2009) по

ударной вязкости превосходит сталь «2» во всём исследованном интервале температур (рис. 6, 7), что очевидно объясняется более высоким уровнем загрязненности вредными примесями в случае стали без вакуумирования, а также наличием мартенситных участков в структуре металла. Наименьшими показателями вязких характеристик в интервале $+20 \dots -60$ °С при любых значениях твердости (рис. 6–8) обладает сталь марки «2» без вакуумирования.

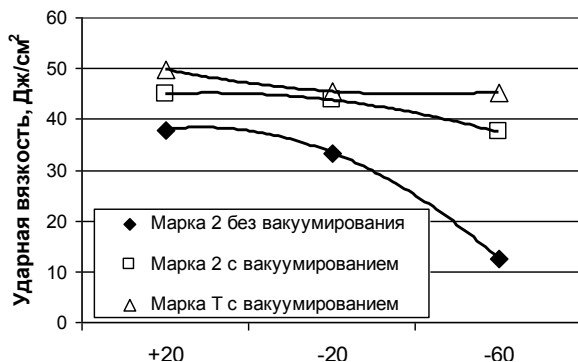


Рис.7. Ударная вязкость бандажной стали при термическом упрочнении на уровень твердости 325 НВ

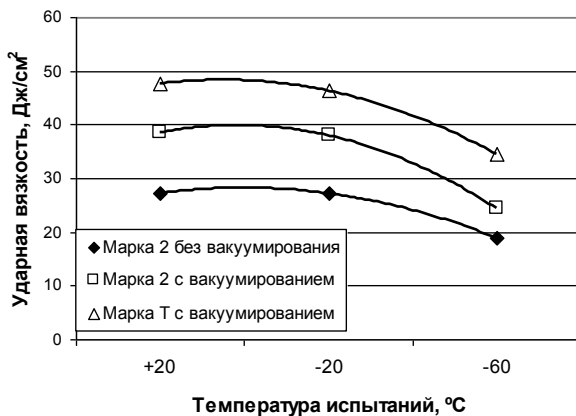


Рис.8. Ударная вязкость бандажной стали при термическом упрочнении на уровень твердости 350 НВ

Выводы.

1. В результате повышения твердости до 350 НВ бандажных сталей марок «2» и «Т» их пластические характеристики (δ_5 , ψ) остаются на высоком уровне и удовлетворяют требованиям ГОСТ 398–96 и ТУ У 35.2–23365425–641:2009 на анализируемый вид изделий.

2. Вакуумирование бандажной стали марки «2» по ГОСТ 398–96 повышает её ударную вязкость при $+20 \dots -60$ °С в широком интервале значений твердости (275...350 НВ).

3. При уровне твердости 325...350 НВ углеродистая и микролегированная ванадием стали имеют различное структурное состояние. Вследствие этого, при формировании перлитно-бейнитной мелкозернистой структуры с игольчатым ферритом сталь с добавками ванадия приобретает более высокие вязкие характеристики в сравнении с перлитомартенситной структурой углеродистой стали той же твердости. Таким образом, при 325–350 НВ наибольшим запасом ударной вязкости как при комнатной, так и при отрицательных температурах обладает микролегированная ванадием вакуумированная сталь марки «Т» по ТУ У 35.2–23365425–641:2009.

1. *Бандажи* из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена. Технические условия: ГОСТ 398–96. – [введен с 01.01.1998г.]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 15 с.
2. *Бандажи* черновые локомотивные повышенной прочности и износостойкости. Технические условия: ТУ У 35.2–23365425–641:2009. – [введены с 01.01.2010г.]. – 8 с.
3. *Узлов И.Г.* Определение структурного состояния и свойств железнодорожных бандажей и рельсов с целью минимизации их износа в паре взаимодействия / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.Н.Хулин, Ж.А. и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2009. – №2. – С.63–66.
4. *Узлов И.Г.* Формирование структуры и комплекса свойств железнодорожных колес из микролегированной ванадием стали при различных режимах упрочняющей обработки / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш, Ж.А.Дементьева // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2008. – №17. – С.185–191.
5. *Ахматов Ю.С.* Влияние вакуумирования колесной стали на ее свойства / Ю.С.Ахматов, А.Г.Лисняк, О.Н.Перков, А.И.Яценко // *Термическая обработка металлов.* – 1978. – № 7. – С.41–42.
6. *Узлов И.Г.* Влияние термической обработки на ударную вязкость конструкционной стали, микролегированной ванадием / И.Г.Узлов, Н.Г.Мирошниченко, В.И.Школа // *Термическая обработка металлов.* – 1977. – №5. – С.86–89.

*Статья рекомендована к печати:
канд. техн. наук А.И.Бабаченко
рецензент канд. техн. наук А.М.Нестеренко*

І.Г.Узлов, К.І. Узлов, А.М.Хулін, Ж.А.Дементьєва

Вплив способу виробництва бандажної сталі на її механічні властивості

В роботі вивчено механічні властивості бандажних сталей різних способів виробництва. Показано, що твердість 325...350 НВ в вуглецевій та мікролегованій ванадієм сталі забезпечується різними структурними станами. Встановлено, що при твердості 325...350 НВ найбільшу ударну в'язкість як при кімнатній, так і при негативних температурах має мікролегована ванадієм вакуумована сталь марки «Т» за ТУ У 35.2–23365425–641:2009.