

**И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.И.Бабаченко, А.Н.Хулин, А.А.Кононенко**

**ОПЫТНО–ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛОКОМОТИВНЫХ БАНДАЖЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ**

В производственных условиях колесопрокатного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» реализованы технологические схемы выплавки, внепечной обработки, прокатки, и термического упрочнения высокопрочных с повышенной износостойкостью железнодорожных бандажей марки «Т» по ТУ У 35.2–23365425–628:2008. Из опробованных способов охлаждения высокопрочных локомотивных бандажей 1060x143x98, изготовленных из микролегированной ванадием стали, наиболее эффективными с точки зрения достижения конкурентоспособности и необходимого уровня механических свойств являются поштучная закалка на вертикальной закалочной машине и объемная закалка стопой.

**колесопрокатный цех, железнодорожные бандажи, технологические схемы, микролегированная ванадием сталь, выплавка, внепечная обработка, прокатка, термическое упрочнение**

**Постановка задачи.** Интенсификация грузовых перевозок на железнодорожном транспорте Украины требует коренного повышения износостойкости локомотивных бандажей. Попытки решения этой задачи методом поверхностной упрочняющей обработки (наплавка гребней, плазменная обработка и др.) не обеспечили желаемых результатов. В связи с этим на заседаниях рабочей группы по программе «колесо–рельс» с участием представителей ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», «Укрзалізниці» и ИЧМ НАНУ 20.09.2005 г. было принято решение о создании высокопрочных бандажей в процессе их металлургического производства. При принятии такого решения был учтён предыдущий опыт авторов настоящей публикации по разработке и внедрению высокопрочных колес из микролегированной ванадием стали [1]. По данным маршрутных испытаний, созданные по программе «колесо–рельс» высокопрочные колеса, в условиях грузовых перевозок Роковата – Ужгород – Кошице, после пробега 200 тысяч километров, продемонстрировали эксплуатационную стойкость против износа на 39% выше в сравнении с колесами марки КП–2 по ГОСТ 10791[2].

Очевидно, что, учитывая отличия технологических процессов производства, конструкции и условий эксплуатации цельнокатаных колес и бандажей, однозначно тиражировать технологию производства высокопрочных колес на новый вид высокопрочной продукции железнодорожного назначения невозможно.

**Целью настоящей работы** являлась разработка технологических параметров термической обработки и опробование различных схем охлаждения локомотивных бандажей, обеспечивающих повышение в них твер-

дости выше 300НВ при сохранении необходимого уровня пластичности и вязкости, а также технологичности монтажа этого изделия на центр.

**Изложение основных материалов исследования.** Принятие ТУ У 35.2–23365425–628:2008 «Бандажи черновые локомотивные повышенной твердости и износостойкости» [4] стало основой дальнейшего развития работ по разработке промышленных режимов термического упрочнения высокопрочных бандажей и их производства для последующих маршрутных испытаний. В 2008 году на ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» разработана, утверждена и введена в техпроцесс «Технологическая карта по выплавке, внепечной обработке и разливке бандажной стали марки БЛ–Т, микрولةгирующей ванадием, хромом, никелем для производства бандажей с повышенной износостойкостью» по ТУ У 35.2–23365425–628:2008 (ТК № 170 от 13.06.2008 года). Опытные образцы новой бандажной стали по ТК № 170 прошли деформационную обработку на прессопрокатной линии кольцебандажной линии (КБЛ) по существующей на ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» технологии.

Сравнительный анализ распределения твердости в бандажах БЛ–2 и БЛ–Т показал следующее (рис.1): в соответствии с требованиями ГОСТ 398–96, на глубине 20 мм от поверхности катания бандажи марки БЛ–2 уверенно обеспечивают требуемый уровень твердости 269 НВ.

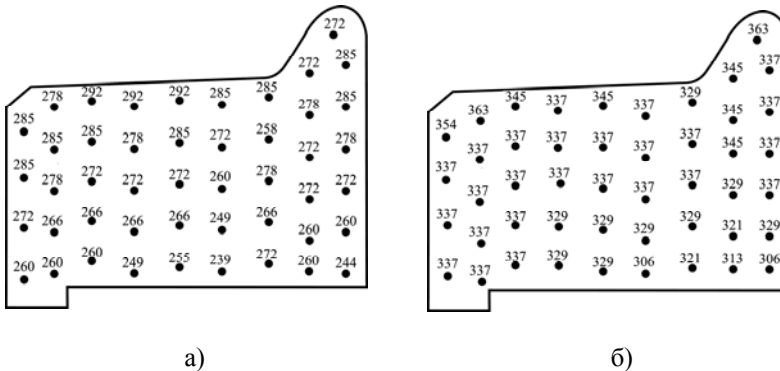


Рис.1. Распределение твердости по сечению бандажных образцов. а) бандаж БЛ–2 по ГОСТ 398–96; б) бандаж БЛ–Т по ТУ У 35.2– 23365425–628:2008.

Ограничение по твердости гребня  $\leq 321$  НВ, также, надежно выполняется. Бандажи марки БЛ–Т благодаря специфическому химическому составу и оптимизации параметров термоупрочнения прокаливаются до значений твердости 300 НВ насквозь, а на контрольной глубине 20 мм имеют твердость не менее 335 НВ. В связи с этим, предельные значения твердости гребня по требованиям ГОСТ 398–96, в данном случае, не имеют смысла при очевидных показателях по сечению изделия и, поэтому, техническими условиями не предусмотрены.

С целью выбора оптимальных технологических параметров термического упрочнения опытной партии бандажей по ТУ У 35.2–23365425–628:2008, были предложены три экспериментальные схемы – закалка на горизонтальной закалочной машине с вращением изделия вокруг оси бандажа, закалка на вертикальной закалочной машине с вращением изделия вокруг оси бандажа и объемная закалка в баке с водой.

Для горизонтальной и вертикальной закалки бандажа были использованы соответствующие машины колесопрокатного цеха (ГЗМ и ВЗМ КПЦ) ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», принципиальные схемы которых представлены на рис.2 и 3.

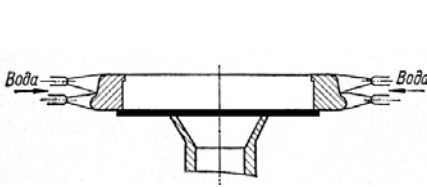


Рис.2. Принципиальная схема горизонтальной закалочной машины.

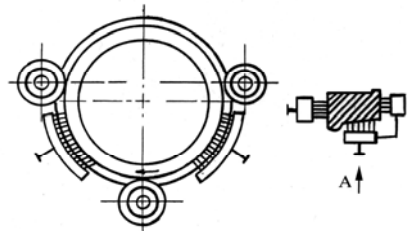


Рис.3. Принципиальная схема вертикальной закалочной машины.

Для объемной закалки бандажей в баке было разработано приспособление термозащиты внутренней поверхности бандажной стопы (чертеж А–22835ТП), которое схематически представлено на рис.4. Реализация закалочных экспериментов осуществлялась в соответствии с разработанными, согласованными и утвержденными в установленном порядке на ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» опытными технологическими картами.

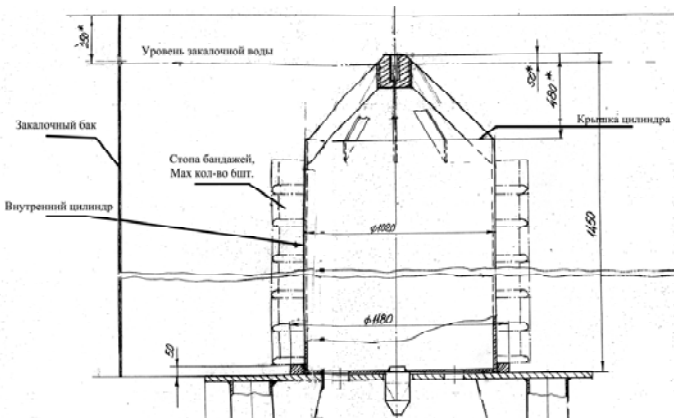


Рис.4. Принципиальная схема закалочного бака с приспособлением термозащиты внутренней поверхности стопы.

Первые результаты опытных обработок бандажей повышенной прочности и твердости показали, что предложенная в работе микролегированная сталь марки Т по ТУ У 35.2–23365425–628:2008 обладает существенными преимуществами против серийной БЛ–2 по ГОСТ 398–96 по структурным признакам [3,4]: размер зерна и межпластиночное расстояние в перлите опытной стали меньше по сравнению с серийной, что позитивно влияет на показатели прочности, твердости и ударной вязкости. Химический состав опытной стали в сопоставлении с требованиями нормативных документов представлен в таблице 1 (ГОСТ 398–96 – поз.1; Проект ГОСТ 398–96 – поз.2; ТУ У 35.2–23365425–628:2008 – поз.3). Сравнительный анализ химического состава плавки №22474 (табл.1, поз.4) с требованиями технических условий (табл.1, поз.3) свидетельствует о полном соответствии опытной плавки требованиям ТУ У 35.2–23365425–628:2008.

Таблица 1. Химический состав опытной плавки № 22474 в сравнении с соответствующими требованиями ГОСТ 398–96, Проект ГОСТ 398 и ТУ У 35.2–23365425–628:2008.

Нормативный документ	Марка стали	Содержание элементов, % (масс.)										
		C	Si	Mn	V	Cr	Ni	Cu	Al	Не больше		
										[H] ppm	P	S
ГОСТ 398–96	2	0,57–0,65	0,22–0,45	0,60–0,90	до 0,15	до 0,2	до 0,25	до 0,3	–	2,0	0,035	0,040
	3	0,60–0,68			0,06–0,15							
Проект ГОСТ 398	2	0,57–0,65	0,22–0,45	0,60–0,90	до 0,15	до 0,2	до 0,25	до 0,3	–	2,0	0,030	0,020
	4	0,65–0,75			до 0,03							0,02–0,6
ТУ У 35,2–23365425–628:2008	Т	0,60–0,68	до 0,40	0,70–0,90	0,08–0,15	до 0,4	до 0,25	до 0,3	0,013–0,030	2,0	0,025	0,020
Опытная плавка 22474	Т	0,66	0,34	0,76	0,127	0,19	0,118	0,09	0,026	1,3	0,012	0,006

На кольцебандажной линии ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» изготовлены опытные высокопрочные бандажи Ø1060 мм, которые были термически обработанные на ГЗМ КПЦ ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» по требованиям разработанной в ходе производственного эксперимента технологической

документации. Результаты испытаний опытных бандажей представлены в таблице 2.

Таблица 2– Механические свойства высокопрочных бандажей по ТУ У 35.2–23365425–628:2008 после термического упрочнения на ГЗМ КПЦ ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» по экспериментальным режимам в сравнении с требованиями нормативного документа.

№ п/п (нормативный документ)	Экспериментальный режим (мин.)	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ +20, Дж/см <sup>2</sup>	НВ (глуб. 20 мм)	НВ (боковая поверхность)	
1	2,0	1180	10,5	19,0	20	331	349	
2	2,5	1170	12,0	27,0	20	331	347	
3	2,5	***	***	***	***	***	336	
4	2,5	***	***	***	***	***	364	
5	2,5	***	***	***	***	***	361	
6	3,0	1200	10,5	24,0	25	337	364	
7	4,0	***	***	***	***	***	357	
8	4,0	***	***	***	***	***	372	
9	4,0	1210	9,2	26,0	37	341	375	
ТУ У 35.2–23365425–628:2008	–	Не менее					300	Количественно не нормируется
		1078	8,0	12,0	20			

\*\*\* – бандажи не разрушали для отбора образцов на механические испытания.

Анализ данных табл.2 свидетельствует о том, что, в зависимости от режима термического упрочнения на ГЗМ уровень ударной вязкости опытных бандажей находится в пределах, 20...37 Дж/см<sup>2</sup> при соответствующей твердости 331...341 НВ. Очевидным является тот факт, что самые низкие показатели ударной вязкости (20 Дж/см<sup>2</sup>) полученные на экспериментальных изделиях удовлетворяют требования ТУ У 35.2–23365425–628:2008, поступаясь, однако, соответствующему уровню ГОСТ 398–96, обсуждаемой характеристики, при твердости, которая превышает установленный обоими нормативными документами минимум.

На всех экспериментальных бандажах производили замеры твердости на боковой поверхности изделия, косвенно оценивая тем самым этот показатель на глубине 20 мм от поверхности катания. Такая процедура нормативно допустима п. 6.6 ГОСТ 398–96. Результаты представленные в табл.2 по этому показателю свидетельствуют о том, что все опытные из-

деля являются кондиционными с точки зрения требований ТУ У 35.2–23365425–628:2008.

Термическое упрочнение бандажей на вертикальной закалочной машине осуществлялось при расходе воды 70–82 м<sup>3</sup>/час, температура воды составляла 23<sup>+20</sup>°С. При этом использовались два вида спрейеров: а) теплоотвод с поверхности катания; б) теплоотвод с поверхности катания и боковых граней бандажа. Химический состав плавки, термовременные параметры закалки и отпуска а также механические свойства бандажей, представлены в табл.3,4,5 соответственно.

Таблица 3. Химический состав по ковшевой пробе

№ Плавки	Химический состав, масс. %											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti	H, ppm
52085	0,65	0,79	0,30	0,014	0,012	0,18	0,12	0,07	0,093	0,02	0,006	1,3

Таблица 4. Термовременные параметры термического упрочнения бандажей на вертикальной закалочной машине

Маркировка бандажей	Температура бандажей перед закалкой, °С	Продолжительность закалки, сек.	Продолжительность подстуживания после закалки перед отпуском, мин.	Температура и продолжительность отпус-ка	Схема охлаждения бандажа во время закалки
101	850	200	73	520±10°С, 3ч. ±15мин.	Охлаждение поверхности катания бандажа
111	860	90	40		Охлаждение поверхности катания и боковых граней бандажа
121	860	120	31		

Температура на поверхности бандажей измерялась оптическим пирометром «MIKRON M90–Q».

Как следует из табл.5, оба варианта спрейерных устройств обеспечивают соответствие бандажей по механическим свойствам требованиям ТУ У 35.2–23365425–628:2008. При охлаждении поверхности катания и боковых граней бандажа с увеличением продолжительности закалки от 90 до

120 секунд наблюдается повышение прочности и твердости бандажей от 112 до 116 кг\мм<sup>2</sup> и от 324 до 328 НВ<sub>20мм</sub> соответственно.

Таблица 5. Механические свойства высокопрочных бандажей после потугочной закалки на вертикальной закалочной машине

Маркировка бандажей	$\sigma_B$ , кг\мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ <sub>+20°C</sub> , кг*с/см <sup>2</sup>				НВ <sub>20мм</sub>	НВ <sub>гр.</sub>	НВ <sub>40мм</sub>
				1	2	3	Ср.			
101	121	11,0	28	2,6	3,6	2,9	3,0	352	371	337
111	112	13	32	1,8	2,3	3,0	2,4	324	355	298
121	116	12	31	4,3	4,4	2,4	3,7	328	331	307
Требования ТУ У 35.2–2336542 5–628:2008	Не менее							300	–	–
	110	8,0	12,0	2,0						

По технологической схеме объемной закалки (рис.4), с использованием новой конструкции приспособления термозащиты внутренней поверхности стопы (чертеж А–22835ТП) опытных высокопрочных бандажей проведены термические обработки изделий с вариациями термокинетических параметров термического упрочнения.

- Температура нагрева под закалку: 860...920<sup>0</sup>С;
- Время охлаждения при закалке: 150...220 сек.;
- Температура охлаждающей воды при закалке: 27...50<sup>0</sup>С;
- Температура отпуска: 480...530<sup>0</sup>С.

Результаты опытных термообработок объемной закалкой и требования нормативных документов представлены в табл.6, из которой следует, что объемная закалка обеспечивает надежное сочетание твердости и ударной вязкости опытных бандажей. При всех вариантах термической обработки их механические свойства (337...352 НВ, КСУ<sub>-20°C</sub>= 32...43 Дж/см<sup>2</sup>) с запасом превышают заданные ТУ У 35.2–23365425–628:2008 и ГОСТ 398–96 требования. Вместе с тем, анализ данных табл.6 свидетельствует о том, что увеличение времени объемной закалки до 220 секунд приводит к переохлаждению стопы бандажей, из-за чего происходит потеря пластичности ( $\delta=9.7\%$ ). Хотя это значение и удовлетворяет требованиям ТУ У 35.2–23365425–628:2008 ( $\delta\geq 8.0\%$ ), однако оно ниже минимального значения соответствующего показателя по ГОСТ 398–96 ( $\delta\geq 10.0\%$ ). При использовании технологии объемной закалки для термоупрочнения высокопрочных бандажей на КБЛ ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», время закалки стопы должно назначаться с ограничением верхней границы  $\tau_{зак} \leq 200$  секунд.

Таблица 6. Механические свойства опытных высокопрочных бандажей, термоупрочненных методом объемной закалки в сравнении с требованиями нормативных документов.

№ плавки	Маркировка бандажа	Углерод, масс. %	Ванадий, масс. %	Температура нагрева под закалку (°С) / время закалки (сек.)	Температура воды, °С	Температура отпуска, °С	$\sigma_{в}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ <sub>+2</sub> <sup>0</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	НВ, глуб. 20мм	Способ закалки
21757	43	0,68	0,100	900/200	27	500	1230	10,5	18,0	43,0	337	Закалка стопы в баке цилиндром
	53			900/220	38	500	1290	9,7	18,0	32,0	341	
	62			900/200	29	480	1200	12,0	28,0	35,0	352	
22474	32	0,66	0,127	880/150	43	530	1110	14,5	36,0	35,0	316	Закалка стопы в баке
21187	Серийн, БЛ 2	0,62	–	860/150	40–50	530	1040	14,0	35,0	39,0	295	Закалка стопы в баке
Требования ТУ У 35.2–23365425–628:2008												
–	Марка «Т»	0,60 – 0,68	0,08– 0,15	–	–	–	Не менее					–
							1100	8,0	12,0	20,0	300	
Требования ГОСТ 398–96												
–	Марка «2»	0,57 – 0,65	0,00– 0,15	–	–	–	930– 1110	Не менее				–
								10,0	14,0	25,0	269	



Установлено, также, что отпуск при температуре выше 500<sup>0</sup>С приводит к некоторому снижению твердости опытных высокопрочных бандажей против желаемой границы в 320НВ, т.е. до 316НВ (см. табл. 6), однако при этом наблюдается повышение относительного удлинения и относительного сужения до 14,5% и 36% соответственно.

### **Выводы.**

В промышленных условиях показана принципиальная возможность достижения в локомотивных бандажах уровня твердости больше 300 НВ при одновременном обеспечении необходимого запаса пластичности и вязкости. Из опробованных способов охлаждения высокопрочных локомотивных бандажей 1060x143x98, изготовленных из микролегированной ванадием стали, наиболее эффективными с точки зрения достижения необходимого уровня механических свойств являются поштучная закалка на вертикальной закалочной машине и объемная закалка стопой. Разработаны технологические параметры термической обработки бандажей, обеспечивающие необходимый уровень механических свойств этих изделий в соответствии с требованиями ТУ У 35.2–23365425–628:2008.

1. *Промышленное* производство высокопрочных железнодорожных колес. / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть* – 2008.– № 1. – С.98–101.
2. Повышение служебных характеристик железнодорожных цельнокатаных колес при использовании микролегированной стали и оптимизированных параметров термической обработки. / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть* – 2006.– № 3. – С.58–61.
3. *Локомотивные* бандажи с повышенными прочностными и вязкими характеристиками. / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш, А.Н.Хулин. // *Металлург. и горноруд. пром-сть* – 2008.– № 4. – С.66–70.
4. *Определение* структурного состояния и свойств железнодорожных бандажей и рельсов с целью минимизации износа в паре их взаимодействия. / И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш, А.Н.Хулин и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. – 2009.– № 2. – С.63–66.
5. Формирование структурного состояния высокопрочных микролегированных ванадием колес в процессе их отпуска. / И.Г.Узлов, А.М.Нестеренко, К.И.Узлов, А.В.Кныш // «*Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*». Сб.науч.тр.ИЧМ. – Вып. 11. – 2005. – С.223–228.
6. Оптимизация параметров отпуска цельнокатаных железнодорожных колес повышенной прочности и износостойкости на основании электронномикроскопического анализа. / И.Г.Узлов, Г.Д.Сухомлин, К.И.Узлов, А.В.Кныш // «*Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*». Сб.науч.тр.ИЧМ. – Вып. 13. – 2006. – С.143–148.

*Статья рекомендована к печати:*

*Зам.ответственного редактора  
раздела «Термическая обработка проката»  
докт.техн.наук, проф. В.В.Парусов*

*І.Г.Узлов, К.І.Узлов, А.І.Бабаченко, А.Н.Хулін, А.А.Кононенко*

**Дослідно–промислова реалізація технології виробництва високоміцних локомотивних бандажів підвищеної зносостійкості**

У виробничих умовах колесопрокатного цеху ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» реалізованої технологічної схеми виплавки, позапічної обробки, прокатування і термічного зміцнення високоміцних залізничних бандажів марки «Г» з підвищеною зносостійкістю по ТУ У 35.2–23365425–628:2008. З випробуваних способів охолодження високоміцних локомотивних бандажів 1060x143x98, виготовлених з мікрولةгованої ванадієм сталі, з погляду досягнення конкурентоспроможності і необхідного рівня механічних властивостей найефективнішими є поштучний гарт на вертикальній гартівній машині та об'ємний гарт стопою.