

УДК 629.4.027.4:346.57

К. І. Узлов

АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЩОДО ЛОКОМОТИВНИХ БАНДАЖІВ ТЯГОВОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Розглянуто вимоги до тягового складу залізниць. Проаналізовано сучасні тенденції до підвищення довговічності та зносостійкості локомотивних бандажів за рахунок одночасного забезпечення виробам високих рівнів твердості поверхні кочення (≥ 320 НВ) та ударної в'язкості їх серцевини (≥ 20 Дж/см²). Аналіз закордонних стандартів продемонстрував обмежені можливості згаданих нормативних вимог щодо одночасного забезпечення твердості, міцності, пластичності та в'язкості, оскільки підвищення твердості здійснюється за рахунок підвищення вмісту вуглецю, яке негативно впливає на показники пластичності та ударної в'язкості. Прогресивними заходами з розв'язання проблеми є вітчизняні технологічні рішення щодо використання оптимально-мікрولهгованих сталей з ефективним термозміцненням.

***Ключові слова:** нормативні вимоги, стандарт, локомотивний бандаж, механічні властивості.*

Вступ

Залізничний транспорт є базовою галуззю економіки України. На нього припадає 88 % вантажообігу (без урахування трубопровідного транспорту) та 50 % пасажирообігу – на відміну від країн ЄС, де частка залізниць становить близько 8 %.

Тому недаремно Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки [1] визначено як пріоритет забезпечення вітчизняних залізниць рухомим складом переважно нового покоління. Це дозволить покращити техніко-економічні показники діяльності залізничного транспорту, поліпшити безпеку та зручність перевезень, підвищити конкурентоспроможність українських залізниць та в цілому зробити якісний прорив у роботі галузі.

З метою забезпечення створення та освоєння виробництва вантажного рухомого складу нового покоління та його складових Програмою, зокрема, передбачено реалізацію таких базових принципів [1], як:

- розробка типових технічних вимог до вантажних вагонів нового покоління;
- розробка нової та доопрацювання чинної нормативної документації на предмет подовження термінів служби рухомого складу;
- встановлення вимоги, що екіпажна частина тягового рухомого складу має забезпечувати пробіг бандажів колісних пар до млн. км;
- встановлення вимоги, що поверхня кочення колеса повинна мати твердість не менше 320 НВ.

Отже, нормативне закріплення нових підвищених вимог до сучасної високоміцної металопродукції залізничного призначення є особливо актуальним.

Постановка проблеми та аналіз шляхів її вирішення

Поточна ситуація з нормативною документацією на локомотивні бандажі подібна до тієї, що склалася у царині розробки і виконання стандартних вимог до колісних виробів [2].

В якості матеріалу для залізничних бандажів (табл. 1) здебільшого у світі використовують вуглецеві нелеговані сталі з вмістом вуглецю 0,4...0,8% (з урахуванням допуску на відхилення від ковшової проби у кінцевому виробі).

Різні країни світу на підставі власного досвіду обирають ту марку сталі, яка відповідає їхнім конкретним умовам і потребам.

Міжнародні, регіональні і національні стандарти систематично впорядковують переліки марок сталей для рухомого складу з метою розширення їхнього інтервалу за вмістом вуглецю та забезпечення можливості для вибору саме певної марки.

Наприклад, Північноамериканський стандарт AAR M-107-98/M208-2009 [3] наочно відображає вищезгаданий концентраційний інтервал 0,4...0,8%. І це не складно зрозуміти з огляду на географічне розташування цієї території, що простягається від півострова Майамі у Мексиканській затоці до заполярного м. Барроу (північ Канади).

Окрім природних та географічних умов, на розвиток національних і регіональних стандартів впливають також національні традиції, історична спадщина деяких регіонів і нові економічні стратегії розвитку. Такі форми розвитку характеризуються, з одного боку, залізницями, що поєднують вантажні перевезення з інтенсивним і високошвидкісним пасажирським рухом (Європа, де окремо слід згадати країни пострадянського простору), а з другого боку – диференційованими коліями вантажного і пасажирського призначення (Північна Америка, Австралія, Південна Африка). Інфраструктура цих залізничних систем суттєво відмінна, і це, а також практичні аспекти відповідної комерційної політики, визначають практику використання коліс тягового та рухомого складу.

Американська асоціація залізниць об'єднала з 01.03.1998 р. стандарти на литі та ковани колеса AAR M-208 та AAR M-107 в єдиний стандарт AAR M-107-98/M208-2009, який, згідно з розділом 2.0 цього нормативного документа, розповсюджується на «колеса для вантажних вагонів та локомотивів». Водночас, вищезгадані технічні вимоги специфіковані окремо лише в частині умов маркування: локомотивні колеса (зі зрозумілих причин) – на ободі, суцільнокатані вагонні – на маточині, литі – на диску.

У свою чергу, Міжнародний стандарт ISO 1005-1:1994 [4] займає, так би мовити, проміжне становище між двома полярними позиціями, притаманними американській і пострадянській системам. Він єдиний у серії ISO 1005 стосується рухомого складу залізниць, але кожен елемент цього складу регламентується своєю «Частиною»: № 1 – «Чорнові ободи», № 6 – «Суцільні колеса» тощо.

Разом з тим, у світовій практиці передусім звертають увагу на такі два принципи й вирішальні для вибору тієї чи іншої марки бандажної сталі чинники, як: 1) схильність до термічних пошкоджень; 2) швидкість зносу.

Інші ж чинники – зокрема, типи рухомого складу і гальмівної системи, рівень навантажень, швидкість і характеристика шляху (окремо беручи до уваги підйоми й спуски), кривизна та змачення рейок – впливають на вибір конкретної марки настільки, наскільки вони є складовими двох вищезгаданих чинників.

Таблиця 1

Вимоги закордонних стандартів до хімічного складу та механічних властивостей бандажів

Нормативний документ	Марка, тип	Хімічний склад, %								Термообробка	Механічні властивості						Примітки
		C	Si	Mn	P	S	Cu	δ, %	ψ, %		КУ, Дж	Твердість, НВ		16			
												Обід	Рів-номірна				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
UIC 810-1	B1	≤0,48	≤0,50	≤1,2				U	600-720	≥12	-	-	174-212	≤30	Твердість наведена як обов'язкова в BSS5892-4		
ISO 1005-1	B2	≤0,58	≤0,50	≤0,9				N	600-720	≥18	-	-	-				
	B3	≤0,60	≤0,50	≤1,1				U	700-820	≥9	-	-	201-241				
BSS5892-Part4	B4	≤0,70	≤0,50	≤0,9	≤0,04	≤0,30		N	700-820	≥14	≥10	≥10	-				
	B5	≤0,60	≤0,50	≤0,8				N	750-880	≥12	-	-	212-262				
	B6	≤0,60	≤0,50	≤0,8				N	800-940	≥10	-	-	229-277				
		≤0,65	≤0,50	≤0,9				T	800-920	≥14	-	-	229-277				
ASTM A 551M	A	0,50-0,65			≤0,05			T	920-1050	≥12	-	-	262-311				
	AHT	0,50-0,65						U	-	-	≥16	-	-	Cr≤0,15			
	B	0,60-0,75	0,15-0,35					T	≥760	≥16	≥32	-	223-277	Ni≤0,25			
	BHT	0,60-0,75	0,15-0,35	0,60-0,90				U	-	-	-	-	-	Mo≤0,06			
	C	0,70-0,85						T	≥860	≥14	≥28	-	255-302				
	CHT	0,70-0,85						U	-	-	-	-	-				
DHT	0,70-0,85						T	≥965	≥12	≥24	-	285-331					
								T	≥1070	≥10	≥20	-	321-363				

Таблиця 2

Склад бандажних сталей за вимогами нормативних документів

№ з/п	Норм. док-г	Марка сталі	Масова частка елементів, %										
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	
1	ГОСТ 398-96	2	0,57 – 0,65	0,60 – 0,90	0,22 – 0,45	≤0,035	≤0,040	-	-	-	до 0,15 0,06 – 0,15	-	-
2		3	0,60 – 0,68										
3	ГОСТ 398-2010	2	0,57 – 0,65	0,60 – 0,90	0,22 – 0,45	≤0,030	≤0,020	≤0,20 0,20 – 0,60	-	-	≤0,15	-	-
4		4	0,65 – 0,75										
5	ТУ У 35.2 – 23365425 – 641:2009	T	0,60 – 0,68	0,70 – 0,90	≤0,40	≤0,025	≤0,02	≤0,60	≤0,25	0,30	0,08 – 0,15	0,013 – 0,030	

Принципові вимоги основних закордонних стандартів (які й ілюструють розглянуті вище положення) наведено у табл. 1. Аналіз її даних підтверджує зроблений раніше висновок про їхні принципово схожі підходи до бандажної та колісної сталей у частині стосовно домінуючого пріоритету вуглецевих сплавів і щодо вибору базових елементів, а також їх сукупності. Слід, окрім того, зазначити, що, окрім базових компонентів, у закордонних стандартах (наприклад, ASTM A551M-07 [5] та ISO 1005-1:1994 [4]) не рекомендується, але й не заперечується – з метою поліпшення здавальних характеристик – наявність у хімічному складі мікролегувальних добавок (наприклад, V та Nb). І слід також зауважити, що більшість розглянутих у табл. 1 стандартів, а саме UIC 810-1-2003 [6], ISO 1005-1:1994 [4], BS 5892-4:1986 [7], не передбачає можливості нормативного встановлення твердості визначеного вищезгаданою Комплексною програмою [1] рівня: ≥ 320 HB.

Бажаний рівень твердості ≥ 320 HB (321–363 HB, табл. 1) регламентується тільки Американським стандартом ASTM A551M-07 [5] і досягається за рахунок підвищення вмісту вуглецю аж до 0,85% (марка DHT, табл. 1). За такого рівня твердості наведений стандарт не передбачає в'язких характеристик виробу.

В Україні ж виробництво бандажів із вуглецевої сталі для рухомого складу залізниць широкої колії та метрополітену регулюється таким нормативним документом, як ГОСТ 398-96 [8].

Цей стандарт встановлює норму на вміст вуглецю у бандажній сталі на рівні, що відповідає подібним маркам для суцільнокатаних коліс (табл. 2, п. 1) вантажних вагонів [2]. Водночас, для марки «2» у ГОСТ 398-96 норма на вміст мікролегувальної добавки встановлена на рівні $\leq 0,15$ %, тобто показник 0% задовольняє цю вимогу. Тому й не дивно, що постачальники локомотивних бандажів відвантажують «Укрзалізницю» здебільшого продукцію марки «2» (див. табл. 2, п. 1), тобто без мікролегування, обходячи увагою існування в ГОСТ 398-96 марки бандажної сталі «3» (див. табл. 2, п. 2).

У свою чергу, аналіз даних табл. 3 підтверджує відповідність вимог до колісної сталі [2] вимогам до бандажів БЛ2, БЛ3 [8] щодо рівнів таких характеристик ободу, як тимчасовий опір руйнуванню, відносні подовження та звуження і, навіть, ударна в'язкість (табл. 3, пп. 1, 2) – але окрім твердості ободу коліс КП-Т, що має бути вищою за 320 HB [2]. Водночас, досягнення саме таких високих показників твердості (і, як наслідок, зносостійкості) бандажів якраз і є завданням вищезгаданої комплексної програми [1]. Виходячи з цього, слід звернути особливу увагу на встановлений ГОСТ 398-96 нормативний показник твердості (за марками): для БЛ2 – 269 HB, а для БЛ3 – 275 HB.

Як бачимо, різниця між марками у твердості на рівні 6 HB перебуває практично у межах похибки вимірювання, причому й щодо тимчасового опору руйнуванню ГОСТ 398-96 теж встановлює дуже близькі норми (табл. 3, пп. 1, 2): 930–1110 Н/мм² для БЛ2 проти 1000–1270 Н/мм² для БЛ3 – і це навіть за наявності таких преференційних нормативних показників БЛ2 порівняно з БЛ3, як: відносне подовження – 10 % проти 8; відносне звуження – 14 і 12 % відповідно; ударна в'язкість (за 20 °С) – 25 Дж/см² проти 20. Через це, як вже обговорювалося вище, за стабільного технологічного забезпечення норми σ_b на рівні ≥ 1000 Н/мм², яке не суперечить нормам стандарту (табл. 3, пп. 1, 2), при виробництві бандажів БЛ2 мікролегування сталі високовартісним ферованадієм втрачає сенс.

Таблиця 3

**Обов'язкові вимоги до механічних властивостей бандажних сталей
за вимогами нормативних документів**

№ з/п	Норм. документ	Марка сталі	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	Твердість, НВ		КСУ, Дж/см ²	
						на глибині 20 мм	на гребні	при +20 °С	при -60 °С
1	ГОСТ 398-96	2	930–1110	≥10	≥14	≥269	-	≥25	-
2		3	1000–1270	≥8	≥12	≥275	-	≥20	-
3	ГОСТ 398-2010	2	930–1110	≥10	≥14	≥269	≤321	≥25	≥15
4		4	≥1050	≥9	≥12	320–360	≤380	≥20	
5	ТУ У 35.2 – 23365425 – 641:2009	T	≥1078	≥8	≥12	≥320	-	≥20	-

Виходячи з цього, фахівці Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, поряд зі збереженням «необов'язкової» (див. вище) норми щодо вмісту мікролегувальної добавки, у даному випадку, ванадію на рівні ≤0,15 % (табл. 2, п. 3), запропонували підвищення обов'язкового рівня за вмістом хрому до 0,2–0,6 % (табл. 2, п. 4) [9]. При цьому автори роботи [9] гарантують підвищення твердості до 320–360 НВ з одночасними перевагами за комплексом механічних і службових властивостей (табл. 3, пп. 3, 4) порівняно зі сталлю марки «2» (табл. 2, п. 3). Саме ці положення знайшли відображення у ГОСТ 398-2010 [10].

Отже, мікролегування ванадієм (та/або ніобієм) стає доцільним саме у випадку досягнення мети переходу на принципово новий рівень твердості (320 НВ і вище [1]) та зносостійкості бандажів – але з безумовним коригуванням технологічних процесів виробництва (й передусім термозміцнення) з огляду на нові вимоги сучасного технічного завдання.

Саме такі технологічні рішення було втілено вітчизняними вченими з Інституту чорної металургії НАН України [11]. Зокрема, ними визначено верхній рівень за вмістом хрому (табл. 2, п. 5) з одночасним скасуванням нижнього ліміту легування цим компонентом. Отже, враховуючи специфічний вплив хрому на пластичні та в'язкі властивості, наші технологи норму стандарту щодо його кількості «на розсуд виробника» витлумачили і встановили на рівні ≤ 0,6 % (табл. 2, п. 5). Разом з тим, норма щодо вмісту мікролегувального компонента (у даному випадку це ванадій) зафіксована як обов'язкова, тобто на рівні 0,08–0,15 % (табл. 2, п. 5). Надалі на практиці технологічні рішення щодо оптимізації параметрів термічного зміцнення високоміцних бандажів було реалізовано в умовах промислового виробництва на ПАТ «Інтерпайп НТЗ» [12]. Приймально-здавальні випробування впевнено продемонстрували високий рівень одночасного поєднання твердості ≥320 НВ, тимчасового опору руйнування ≥1078 Н/мм² та задовільного показника ударної в'язкості $KCU_{20^\circ C} \geq 20$ Дж/см² (табл. 3, п. 5; [13]).

На підставі одержаних результатів [14] було розроблено та впроваджено у промислове виробництво Національний нормативний документ ТУ У 35.2 – 23365425 – 641:2009 [13].

Висновки

Розгляд вимог до тягового складу залізниць дозволив встановити сучасні тенденції до підвищення довговічності та зносостійкості локомотивних бандажів за рахунок одночасного забезпечення виробам високих рівнів твердості поверхні кочення (≥ 320 НВ) та ударної в'язкості їх серцевини (≥ 20 Дж/см²).

Разом з тим, аналіз закордонних стандартів продемонстрував обмежені можливості вищезгаданих нормативних вимог щодо одночасного забезпечення твердості, міцності, пластичності та в'язкості – оскільки підвищення твердості у відповідних випадках здійснюється тільки за рахунок підвищення вмісту вуглецю, що напряму негативно впливає на показники пластичності та ударної в'язкості.

У зв'язку з цим встановлено, що прогресивними заходами з розв'язання проблеми одержання високоміцних бандажів із високими показниками пластичності та в'язкості є саме вітчизняні технологічні рішення стосовно використання оптимально-мікролегованих сталей з ефективним термозміцненням – завдяки чому надійно забезпечуються такі показники приймально-здавальних характеристик виробів: твердість ≥ 320 НВ, $\sigma_B \geq 1078$ Н/мм²; КСУ_{20°C} ≥ 20 Дж/см².

Рассмотрены требования к тяговому составу железных дорог. Проанализированы современные тенденции повышения долговечности и износостойкости локомотивных бандажей за счет одновременного обеспечения изделиям высоких уровней твердости поверхности катания (≥ 320 НВ) и ударной вязкости их сердцевины (≥ 20 Дж/см²). Анализ зарубежных стандартов продемонстрировал ограниченные возможности упомянутых нормативных требований, касающихся одновременного обеспечения твердости, прочности, пластичности и вязкости, так как повышение твердости осуществляется за счет увеличения содержания углерода, которое отрицательно влияет на показатели пластичности и ударной вязкости. Прогрессивными методами решения проблемы являются отечественные технологические мероприятия относительно использования оптимально-микролегированных сталей с эффективным термоупрочнением.

Ключевые слова: нормативные требования, стандарт, локомотивный бандаж, механические свойства.

The requirements for traction railway composition have been reviewed. The modern trend to increasing a durability and wear resistance of locomotive tyres for account of simultaneous providing products by high hardness roll surface (≥ 320 НВ) and impact toughness of their core (≥ 20 Дж/см²) have been analysed. Analysis of foreign standards have been demonstrated the limitations of these regulatory requirements to simultaneous providing the hardness, strength, ductility and toughness because of increasing the carbon content that in turn influences negatively on plasticity and impact toughness. Progressive methods for solving problems are domestic technological activities of using microalloyed forging steels with optimally efficient thermal hardening.

Keywords: normative requirements, standard, locomotive tyres, mechanical properties.

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки. – К.: ДНДЦ Укрзалізниці, 2009. – 299 с.

2. *Узлов І. Г.* Аналіз розвитку вимог нормативної документації до колісної продукції рухомого складу залізниць / І. Г. Узлов, К. І. Узлов, Т. Є. Суровцева та ін. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр. Института черной металлургии НАН Украины.* – Днепропетровск: Візіон, 2012. – Вып. 26. – С. 196-202.
3. *Стандарт AAR M208-2009.* – *Wheels, Carbon Steel.* – *Specification* (північноамериканський).
4. *Стандарт ISO 1005-1:1994.* – *Railway Rolling Stock Material.* – *Part 1: Rough-Rolled Tyres for Tractive and Trailing Stock.* – *Technical Delivery Conditions* (міжнародний).
5. *Стандарт ASTM A551/A551M-07.* – *Standard Specification for Carbon Steel Tires for Railway and Rapid Transit* (американський).
6. *Стандарт UIC 810-1-2003.* – *Technical Specification for the Supply of Rough Rolled Non-Alloy Steel Tyres for Tractive and Trailing Stock.*
7. *Стандарт BS 5892-4:1986.* – *Railway Rolling Stock Material (Metric).* – *Specification for Tyres.*
8. *ГОСТ 398-96.* – *Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена.* – *Технические условия.*
9. *Брюнчуков Г. И.* Эксплуатационные испытания бандажом повышенной твердости / Г. И. Брюнчуков, Д. П. Марков, А. В. Сухов // *Локомотив.* – 2008. – № 5. – С. 33–35.
10. *ГОСТ 398-2010.* – *Бандажи черновые для железнодорожного подвижного состава.* – *Технические условия.*
11. *Узлов И. Г.* Локомотивные бандажи с повышенными прочностными и вязкими характеристиками / И. Г. Узлов, К. И. Узлов, А. В. Кныш и др. // *Металлургическая и горно-рудная промышленность.* – 2008. – № 4. – С. 66–70.
12. *Узлов И. Г.* Разработка технологии производства высокопрочных локомотивных бандажей на ОАО «Интерпейп НТЗ» / И. Г. Узлов, К. И. Узлов, А. И. Бабаченко и др. // *Там же.* – 2009. – № 3. – С. 104–108.
13. *Технические условия ТУ У 35.2-23365425-641:2009.* – *Бандажи черновые локомотивные повышенных прочности и износостойкости.*
14. *Узлов І. Г.* Розробка технології, нормативної документації та процесів створення високоміцних стійких проти спрацювання локомотивних бандажів / І. Г. Узлов, К. І. Узлов, О. І. Бабаченко, А. М. Хулін // *Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»: зб. наук. статей.* – К.: Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України. – 2009. – С. 417–423.