

УДК 629.463

Ю.В. Єжов, О.М. Білецький

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛИТИХ КОЛІС НА ВАНТАЖНОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Наведено результати аналізу науково-технічної інформації щодо конструкції та технології виготовлення литих коліс. Проаналізовано результати експлуатаційних випробувань литих коліс, встановлених під вантажним рухомих складом на залізницях України.

Вступ

Залізничні колеса у всьому світі виготовляють двома різними методами: методом обробки заготовки тиском (штамповка, штамповка та прокатка) та методом лиття.

Найбільш розповсюдженою технологією виготовлення є технологія виготовлення суцільнокатаних залізничних коліс методом штамповки та прокатки у колесопркатному стані, де формуються основні частини колеса: диск, обід, маточина.

Виготовлення суцільнокатаних коліс потребує складного обладнання, що суттєво збільшує їхню вартість. Виготовлення коліс методом лиття такого складного обладнання не потребує і тому даний метод є більш дешевим.

Литі колеса виготовляють виплавою колісної сталі в електродугових печах з подальшим її розливанням у графітові форми. Отримана заготовка підлягає термічному та механічному обробленню. Для підвищення міцності ободу такі колеса виготовляють методом відцентрового лиття. Для підвищення зносостійкості поверхні катання в метал ободу вводять легуючі елементи.

Сьогодні на залізницях світу використовують як суцільнокатані колеса (Франція, Чехія, США, Україна, Росія, Німеччина, Японія, Швеція, Угорщина), так і литі (Великобританія, Чехія, Польща, США, Канада, Китай).

Як відомо з відкритих джерел [1], на даний час в США до 75% залізничних коліс виготовляють методом лиття. Найпотужнішим американським виробником литих коліс є компанія «Griffin Wheel», яка сьогодні входить в склад холдингової компанії «Amsted Rail Company, Inc.». Зазначена холдингова компанія постачає на залізниці Північної Америки більш ніж 70 % всіх нових литих коліс.

Сьогодні підприємства «Amsted Rail Company, Inc.» в США, Канаді, Китаї, Бразилії виготовляють 1,8 млн. литих залізничних коліс на рік.

© Єжов Ю.В., Білецький О.М., 2019

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Литі колеса «Amsted Rail Company, Inc.» експлуатуються під вантажними вагонами з осьовим навантаженням (30 – 32) тс (у окремих випадках – до 45 тс) при швидкості руху до 160 км/год і температурі навколишнього середовища від мінус 60 °С до 55 °С на залізницях ЮАР і Канади, Австралії і штату Аляска (США), Бразилії і Китаю.

Що стосується Європи, то у 2004 році у Великобританії був затверджений стандарт на литі колеса British Standard BS 5892-7:2014 Railway rolling stock materials Part 7: Specification for product and technical approval requirements for cast wheel ” (Матеріали для залізничного рухомого складу. Частина 7: технічні вимоги до литих коліс та умовам їх допущення до використання). На даний час в дослідній експлуатації знаходиться приблизно 1000 литих коліс, претензій до якості литих коліс в експлуатації не зафіксовано.

На залізницях Польщі литі колеса успішно пройшли всі випробування та отримали необхідні дозволи на експлуатацію. На даний час в експлуатації знаходяться 12 000 литих коліс виробництва компанії «Griffin Wheel».

1 Дослідження науково-технічної інформації щодо конструкції, технології виготовлення, результатів експлуатаційних випробувань литих коліс на залізницях України під вантажним рухомих складом

Мета досліджень – зібрати та проаналізувати науково-технічну інформацію стосовно розробок, особливостей конструкції, технології виготовлення, основних експлуатаційних параметрів, результатів експлуатаційних випробувань литих коліс для оцінки можливості та доцільності їх використання на залізницях України під вантажним рухомих складом.

Об’єкти досліджень – колеса литі для колісних пар візків залізничних вантажних вагонів з максимальним розрахунковим статичним осьовим навантаженням до 245,0 кН (25 тс).

1.1 Конструктивні особливості литих коліс

1.1.1 Залізничне лите колесо має трьохелементну конструкцію, що включає маточину, диск та обід. В залежності від кліматичних та експлуатаційних умов, у яких використовується рухомий склад, залізничні колеса мають певні конструктивні особливості, які впливають на міцність та надійність під час експлуатації.

1.1.2 Що стосується литих залізничних коліс, то їхня конструкція, форма та розміри повинні відповідати рисунку 1 [2].

1.1.3 Сполучення поверхонь обода, диска та маточини литих коліс повинні бути виконані у вигляді округлень та фасок.

1.1.4 Відхилення профілю обода литого колеса від номінальної форми по вершині гребеня має бути не більше ніж 1 мм, по поверхні катання та гребеня – не більше ніж 0,5 мм.

1.1.5 Поля допусків для основних розмірів та відхилення форми литих коліс наведені в таблиці 1.

1.1.6 Параметри шорсткості поверхонь литих коліс мають відповідати значенням, наведеним в таблиці 2.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1 - Поля допусків для основних розмірів та відхилення форми литих коліс

Елемент колеса Елемент колеса	Показники	Поле допуску розмірів та відхилення форми, мм
Обід	Діаметр по колу катання	14,0
	Діаметр внутрішньої поверхні обода з зовнішньої сторони колеса	10,0
	Діаметр внутрішньої поверхні обода з внутрішньої сторони колеса	10,0
Обід	Ширина	3,0
	Висота гребеня	1,0
	Різниця значень товщини по периметру колеса	2,0
	Різниця значень ширини по периметру колеса	2,0
	Відхилення від круглості по колу катання	0,25
	Викривлення	0,4
	Розвал	0,5
Маточина	Діаметр зовнішньої поверхні маточини з зовнішньої сторони колеса	5,0
	Діаметр зовнішньої поверхні маточини з внутрішньої сторони колеса	5,0
	Діаметр отвору	4,0
	Довжина	10,0
	Відстань від торцевої поверхні маточини до бічної поверхні обода з внутрішньої сторони колеса	5,0
	Різниця значень товщини по периметру колеса	4,0
	Відхилення від паралельності площин – торцевої поверхні маточини відносно бічної поверхні обода з внутрішньої сторони колеса	1,5
	Ексцентриситет отвору відносно кола катання колеса	1,0

1.2 Технологія виготовлення литих коліс

1.2.1 На заводах компанії «Griffin Wheel» використовується технологія лиття в графітові форми. За зазначеною технологією виготовляють колеса діаметром 840 мм та 910 мм масою від 270 кг до 410 кг для вантажних вагонів, а також діаметром 1020 мм і масою 520 кг для локомотивів.

Відношення маси виливка до маси металу, що розливається, знаходиться в межах (80 – 85)%. Після механічної обробки вихід придатного литва складає приблизно 75 %. За зазначеною технологією завод виготовляє (1000 – 1200) коліс за добу.

1.2.2 Заводи «Griffin Wheel» використовують унікальний процес лиття сталей марок «В», «С», «D» під тиском для забезпечення точності розмірів диску та обода колеса. При використанні такої технології відхилення розмірів всіх елементів литого колеса від номіналу не перевищує 0,5 мм. Тривалість заливки форми складає не більше 5 секунд.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 2 – Параметри шорсткості поверхонь литих коліс

Поверхня елемента	Параметри шорсткості, мкм (не більше)	
	R _Z	R _A
Бічна поверхня обода з внутрішньої сторони колеса, поверхня катання і гребеня	80	20
Торцеві поверхні маточини з зовнішньої та внутрішньої сторін колеса	80	20
Поверхня диска	80	20
Поверхня отвору маточини	160	40

Технологічний процес обслуговують два замкнуті конвеєри, що складаються з вагонеток. Залиті форми рухаються по одному конвеєру, а кришки опок, зняті після заливки – по другому.

Після витягу коліс з форм їх за допомогою ланцюгового конвеєра переміщують в тунельну піч для повільного охолодження з (900 - 950) °С до 500 °С.

Отвір в маточині пропалюють за допомогою верстату вогневого різання, тривалість операції не більше ніж 2 хвилини. Відхилення діаметру отвору від номіналу не перевищує 3 мм.

Після термічної обробки зовнішні поверхні диска та зон його переходу в обід та маточину литого колеса зміцнюють дробом. Зміцнення здійснюють на спеціалізованих дробометних та дробоструминних установках сталевим дробом, що має твердість (365 – 545) НВ.

1.3 Хімічний склад та механічні властивості сталі для литих коліс

1.3.1 З досвіду виробництва литих коліс встановлено, що для отримання якісних виливків хімічний склад рідкої сталі марки В за аналізом ковшової проби повинен відповідати значенням, вказаним в таблиці 3 [2].

Таблиця 3 - Хімічний склад рідкої сталі марки В

Марка сталі	Елемент	Масова частка елемента, %	Допустимі відхилення від масової частки, %
В	вуглець	0,57 – 0,67	± 0,03
	марганець	0,60 – 0,90	± 0,03
	кремній	0,15 – 1,00	± 0,03
	ванадій	≤ 0,100	-
	сера	0,005 – 0,040	+ 0,005
	фосфор	≤ 0,030	+ 0,005
	хром	≤ 0,25	-
	нікель	≤ 0,25	-
	мідь	≤ 0,35	-
	молібден	≤ 0,10	-
	титан	≤ 0,03	-
	ніобій	≤ 0,05	-
алюміній	≤ 0,06	-	

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

1.3.2 Механічні якості сталі литих коліс мають відповідати значенням, наведеним в таблиці 4 [2].

Таблиця 4 - Механічні якості сталі литих коліс

Марка сталі	Тимчасовий опір розриву сталі обода σ_{B2} , Н/мм ²	Відносне подовження сталі обода δ , %	Відносне звуження сталі обода ψ , %	Ударна в'язкість сталі КСУ, Дж/см ²			Твердість сталі обода на глибині 30 мм від поверхні катання, НВ
				обода	диска		
				при 20 °С	при 20 °С	при -60 °С	
не менше				20	15	4	285
В	980 - 1130	6	8	20	15	4	285

Примітка
Значення тимчасового опору розриву сталі диска не має перевищувати 90 % від фактичного значення тимчасового опору розриву сталі обода.

1.3.3 Різниця значень твердості сталі обода на глибині 30 мм від поверхні катання, що виміряна по периметру одного колеса, не має перевищувати 20 НВ [2].

1.3.4 Різниця значень твердості сталі на бічній поверхні ободів коліс однієї партії не має перевищувати 40 НВ [2].

1.4 Межа втомної витривалості та тріщиностійкість литих коліс

1.4.1 Межа втомної витривалості литих коліс при втомних випробуваннях з радіальним циклічним навантаженням по гребеню з коефіцієнтом асиметрії 0,1 на базі 5 млн. циклів навантаження має бути не менше ніж:

- 400 кН – для вантажних вагонів з осьовим навантаженням до 230,5 кН (23,5 тс);

- 450 кН – для вантажних вагонів з осьовим навантаженням більше 230,5 кН (23,5 тс) та до 245,0 кН (25 тс).

1.4.2 Тріщиностійкість сталі обода коліс на відстані 20 мм від поверхні катання при статичному навантаженні має складати не менше ніж 50 МПа·м^{1/2}.

2 Дослідження литих коліс виробництва компанії «Griffin Wheel» під час експлуатації на залізницях України

2.1 Для визначення можливості та ефективності використання литих коліс на залізницях України у 2006 році Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (далі - ДНУЗТ) була розпочата підконтрольна експлуатація партії литих коліс виробництва компанії «Griffin Wheel», результати якої наведені в [3].

Для цього на ВАТ «Дарницький вагоноремонтний завод» (далі - ВАТ «ДВРЗ») під час капітального ремонту колісними парами з литими колесами (200 колісних пар) були обладнані 50 напіввагонів, які були направлені на випробувальний полігон.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

2.2 В якості дослідного маршруту був обраний маршрут «Роковата - Ужгород-Кошице» (Україна-Словенія). Даний маршрут пролягає по Придніпровській, Одеській, Південно-Західній та Львівській залізницям України та включає різні за планом та профілем ділянки.

Довжина одного рейсу складає 2700 км, коефіцієнт порожнього пробігу – 0,5. За експертними оцінками, навантаженість вагонів дослідного маршруту в (1,2 – 1,5) рази перевищує навантаженість на залізницях колії 1520 мм.

Слід зазначити, що вагони дослідного маршруту експлуатувались без пропуску через горні системи.

2.3 Під час дослідної експлуатації литих коліс контролювались зноси та пошкодження їх елементів. Дані про зноси та пошкодження литих коліс були отримані у вагоноремонтному депо Мудрьона Придніпровської залізниці під час проведення вагонам дослідного маршруту деповських ремонтів у 2008-2010 роках.

Результати досліджень показали наступне:

- у литих коліс найчастіше (майже у 50 % коліс) трапляються пошкодження у вигляді тонкого гребеня;

- після першого деповського ремонту кількість пошкоджень у вигляді зносу гребеня значно збільшується та досягає 62 %, що потребує обточування колеса по колу катання (це приводить до зменшенню терміну служби колеса);

- значна частина коліс має вищербини на поверхні катання (досвід експлуатації на залізницях свідчить про те, що при експлуатації вагонів у звичайному режимі, тобто з пропуском через горні системи з відповідними маневровими операціями, кількість вищербин та повзунів значно збільшується).

2.4 В цілому за результатами аналізу результатів проведених досліджень було встановлено наступне:

- під час першого планового деповського ремонту майже 50 % литих коліс проходили обточування по колу катання з причини тонкого гребеня, під час другого планового деповського ремонту – 63 %;

- перші відмови литих коліс з причини тонкого гребеня можливі після 132 тис. км пробігу;

- якщо товщина обода складає 52 мм, перші відмови колеса з причини тонкого обода можливі після 229 тис. км пробігу, а середній ресурс литого колеса, з урахуванням досягнення граничної товщини обода, складає 405 тис. км;

- якщо товщина обода складає 75 мм, перші відмови колеса з причини тонкого обода можливі після 418 тис. км пробігу, а середній ресурс литого колеса, з урахуванням досягнення граничної товщини обода, складає 739 тис. км;

- при діаметрі колеса 914 мм і товщині обода 52 мм середній ресурс литого колеса, з урахуванням досягнення граничної товщини обода, складає 325 тис. км;

- при діаметрі колеса 957 мм и товщині обода 75 мм середній ресурс литого колеса, з урахуванням досягнення граничної товщини обода, складає 593 тис. км.

2.5 Підконтрольна експлуатація партії литих коліс виробництва компанії «Griffin Wheel» на дослідному маршруті «Роковата – Ужгород - Кошице» продовжувалась також після 2010 р.

Під час комісійного огляду напіввагонів на литих колесах 29.11.2012 р. встановлено середній пробіг литих коліс 580 тис. км, на початок 2015 р. – 750 тис. км, середня кількість обточувань – 2,4.

При цьому зафіксовано відсутність тріщин та руйнувань литих коліс.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

3 Попередня оцінка можливості використання литих коліс під вантажним залізничним транспортом України

3.1 Позитивний досвід використання литих коліс на вантажному залізничному транспорті таких країн, як США, Великобританія, Чехія, Польща, Канада, Китай, наявність провідного виробника литих залізничних коліс – компанії «Amsted Rail Company, Inc.», вироби якої експлуатуються під вантажними вагонами з осьовим навантаженням (30 – 32) тс (у окремих випадках – до 45 тс) при швидкості руху до 160 км/год і температурі навколишнього середовища від мінус 60 °С до 55 °С, свідчить про те, що даний напрямок у розвитку залізничної техніки для України є перспективним.

3.2 Результати досліджень, проведених під час підконтрольної експлуатації литих залізничних коліс виробництва компанії «Griffin Wheel» (входить до складу компанії «Amsted Rail Company, Inc.») фахівцями ДНУЗТ у 2006-2015 рр., які не виявили тріщин або руйнування литих коліс, є одним з свідоцтв можливості використання литих коліс під вантажним залізничним рухомих складом України.

З урахуванням викладеного, попередня оцінка можливості використання литих коліс під вантажним залізничним транспортом України є позитивною, і тому дослідження в цьому напрямку необхідно продовжувати.

Висновки

1 Позитивний досвід використання литих коліс на залізницях ряду країн світу свідчить про те, що даний напрямок у розвитку залізничної техніки для України є перспективним.

2 Дані, отримані в результаті проведених досліджень особливостей конст-рукції, технології виготовлення, основних параметрів, результатів експлуатаційних випробувань литих коліс є базою для розробки основних технічних вимог до залізничних литих коліс для можливості їх використання на вантажному залізничному транспорті України.

3 Результати досліджень, проведених під час підконтрольної експлуатації литих залізничних коліс виробництва фірми «Griffin Wheel» фахівцями ДНУЗТ, є одним з свідоцтв можливості використання литих коліс під вантажним залізничним рухомих складом України.

4 Попередня оцінка можливості використання литих коліс під вантажним залізничним транспортом України є позитивною, і тому дослідження в цьому напрямку необхідно продовжувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н.В. «Некоторые аспекты внедрения литых колес «на пространстве 1520», Курск, 2018 [Електронний ресурс] – режим доступу: orzti.ru/wp-content/uploads/2018/11/
2. Проект ГОСТ Р «Колеса литые колесных пар железнодорожных грузовых вагонов. Общие технические условия» - М.: Стандартиформ, 2019
3. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Пиценко И.В. «Перспективы эксплуатации литых колес на железных дорогах Украины»: «Вагонный парк».- Харьков, 2016.-Вып. № 9-10.- С.114-115