

УДК 669.018.2/8:621.9

**ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО СПЛАВУ  
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ ВІЗКІВ  
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

**К. І. Узлов, д. т. н.**

*Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ*

**Вступ**

На сьогоднішній день «Інструкцією по ремонту візків вантажних вагонів» Укрзалізниці [1] передбачено виготовлення фрикційного клина візків вантажних вагонів моделі 18–100 із сталі 25Л згідно з ГОСТ 977 88 «Отливки стальные. Общие технические условия». Ця деталь складає пари тертя під час експлуатації з похилою поверхнею надресорної балки (20Л, 20ГЛ, 20ГФЛ – ГОСТ 977-88) та вертикальною стінкою бокової рами, що армована фрикційною планкою із сталі 45 за ГОСТ 1050-88 «Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия», 40Х та 30ХГСА за ГОСТ 4543-71 «Сталь легированная конструкционная. Технические условия» в термічно зміцненому стані. Твердість надресорної балки із сталі 20ГФЛ у литому стані 160...180НВ. Твердість фрикційних планок в термозміцненому стані із сталей 45/40Х 300...320НВ та майже 450НВ для сталі 30ХГСА [1]. Така ситуація вимагає пошуку раціональних залізвуглецевих сплавів для виготовлення фрикційних елементів візків вантажних вагонів, які б забезпечували високу їх довговічність в обговорених парах тертя, що характеризуються неоднаковими значеннями твердості контактуючих поверхонь.

**Матеріал та методика**

Матеріалом досліджень були чавуни з різною формою графітної складової за ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки», ГОСТ 28394-89 «Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки», ГОСТ 1215-79 «Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия», ДСТУ 3132-95 «Чавун ливарний. Технічні умови», ГОСТ 26358-84 «Отливки из чугуна. Общие технические условия», ДСТУ 3925-99 «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки», ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки». Аналіз властивостей досліджених матеріалів проводили порівняно з вимогами європейського та американського регіонального стандартів DIN EN 1564 : 1997 «Austempered Ductile Cast Iron», ASTM : A897M – 90 «Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings».

Металографічний аналіз проводили на виготовлених за стандартними методиками (ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна», ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита») мікрошліфах за допомогою мікроскопа «Neophot-2».

Механічні випробування на статичний розтяг проводили згідно з ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» на випробувальній машині «Instron». Випробування на ударний згин проводили

згідно з ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытання на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах» на маятниковому копрі PSW-5. Твердість вивчали за допомогою твердоміра ТБ 5004 за вимогами ГОСТ 9012-59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю».

#### **Результати експерименту та їх обговорення**

Аналіз пар взаємодії елементів тертя у фрикційному вузлі візків вантажних вагонів очевидно свідчить про наявність непропорційних із точки зору зносу пар клин – балка та клин – рама:

*«Клин – балка»:*

1. «Лита балка / литий клин (без термообробки)» – близький знос поверхонь тертя обох елементів візка.

2. «Лита балка / термозміцнений клин (співвідношення твердостей: 160...180 НВ проти 380...420 НВ)» – активне руйнування поверхні тертя балки.

*«Клин – рама»:*

3. «Фрикційна планка бокової рами / литий клин (без термообробки); співвідношення твердостей: термозміцнена планка із сталі 20ХГСА 320...400 НВ проти 160...180 НВ)» – активний знос поверхні тертя клина.

4. «Фрикційна планка бокової рами / термозміцнений клин (співвідношення твердостей: 320...400 НВ проти 380...400 НВ)» – приблизно близький знос поверхонь тертя обох елементів. При цьому слід мати на увазі пару тертя за п. 2 «Лита балка / термозміцнений клин».

У праці [2] було показано, що термозміцнений чавун із структурно-вільним графітом показує в декілька разів менший знос як у парі тертя із сталлю з твердістю 300НВ, так і в парі тертя із сталлю з твердістю 400 НВ порівняно з парами «сталь – сталь». Завдяки наявності в чавуні графіту останній працює на контактній поверхні як природне мастило, а також проявляє себе як демпфуючий елемент, знижуючи рівень шуму при коливаннях візка.

Саме тому Укрзалізниця як альтернативу сталі 25Л за ГОСТ 977 для цього виробу [1] передбачила його виготовлення із чавуну СЧ25 за ГОСТ 1412.

Чавун із пластинчастим графітом СЧ25 найдешевший і найпростіший серед чавунів із структурно-вільним графітом із точки зору виробництва (ГОСТ 3443, ДСТУ 3132).

Підвищення компактності графітної складової в чавуні зумовлює поліпшення його механічних властивостей [3]. В таблиці 1 наведено порівняльні характеристики механічних властивостей деяких чавунів з різною формою графіту.

Аналіз таблиці 1 однозначно свідчить про те, що перехід від чавунів з пластинчастим графітом (1, 2) до чавунів із вермикулярним графітом (3, 4), далі до ковкого чавуну (5, 6) і, насамкінець, до чавуну з кулястим графітом, зумовлює підвищення не тільки пластичних, а і міцнісних характеристик. Слід зауважити, що в цей аналіз не були включені спеціальні леговані чавуни (ГОСТ 1585-85 «Чугун антифрикционный для отливок. Марки»,

ГОСТ 7769-82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами»), які детально були розглянуті в [4].

Таблиця 1

Порівняльні характеристики механічних властивостей чавунів із структурно-вільною графітною складовою

№ з/п	Марка чавуну	Нормативний документ	$\sigma_{в}$ , Мпа	$\sigma_{0,2}$ , Мпа	$\delta$ , %	Твердість, НВ
1	СЧ 10	ГОСТ 1412-85	100	*	*	*
2	СЧ 35	ГОСТ 1412-85	350	*	*	*
3	ЧВГ 30	ГОСТ 28394-89	300	240	3,0	130–180
4	ЧВГ 45	ГОСТ 28394-89	450	380	0,8	190–250
5	КЧ 37-12	ГОСТ 1215-79	362	*	12	110–163
6	КЧ 80-1,5	ГОСТ 1215-79	784	*	1,5	270–320
7	ВЧ 350-22	ДСТУ 3925-99	350	230	22	140–170
8	ВЧ 1000-2	ДСТУ 3925-99	1000	700	2	270–360

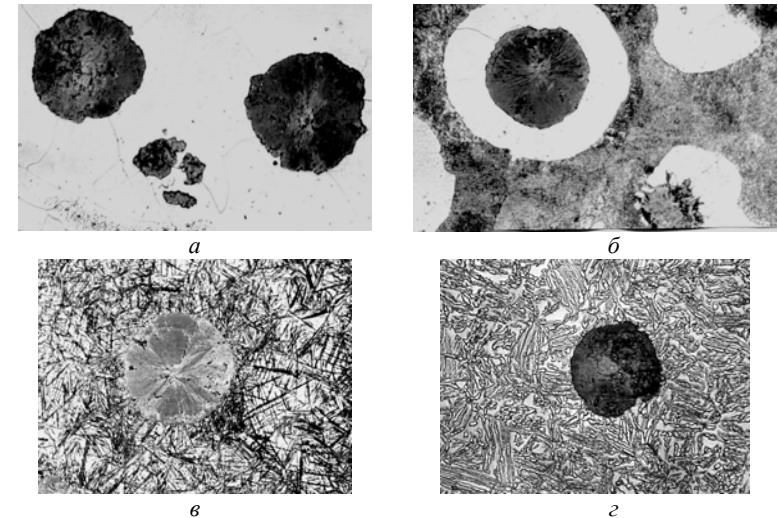
Примітка : \* – нормативним документом не регламентовано

В умовах фрикційного зносу, якими є експлуатація фрикційного клина візка 18–100, принципово треба підходити не тільки до вибору типу чавуну, а і до визначення термообробки матриці. Додатково до технологічних термічних процедур, таких як гомогенізуючий відпуск, відпуск для зняття внутрішніх напружень, для контрольованого управління матрицею призначають нормалізацію, гартування з відпуском, ізотермічне гартування (аустемперинг) [5; 6].

Серед розглянутих ізотермічне гартування заслуговує на особливу увагу тому, що саме воно зумовлює особливі фізико-механічні властивості. Оптимальні механічні характеристики досягаються під час нагріву перед гартуванням в аустенітній області з наступними охолодженням та ізотермічною витримкою в температурних інтервалах, де забезпечується розпад аустеніту на структури верхній або нижній бейніт. Чавуну з такою структурою матриці разом із кулястим графітом є найперспективнішим конструкційним матеріалом на сьогоднішній день [7], який може скласти конкуренцію навіть традиційно використовуваним конструкційним сталям [8].

Процедура аустемперингу не є нормативно забороненою через те, що стандарти на чавуни з графітною складовою, які були проаналізовані вище, припускають можливість проведення термічної обробки. Нормативні документи рівень тимчасового опору руйнуванню визначають для чавуну в литому стані або після термічної обробки.

Типові мікроструктури вихідних відливок «фрикційний клин» наведені на рисунках *а, б*. На рисунках *в, з* показано мікроструктури чавуну з кулястим графітом після аустемперингу на підприємстві «Амстед-Рейл» за прийнятною на заводі технологією [9].



*а* – феритна матриця, *б* – ферито-перлітна матриця,  
*в* – нижній бейніт, *з* – верхній бейніт

Рис. Мікроструктури вихідних відливок «фрикційний клин» у литому стані (*а, б*) та після ізотермічного зміцнення (*в, з*)  $\times 500$

Тобто єдиним перспективним матеріалом заміни сталей для виготовлення фрикційних елементів візків вантажних вагонів може розглядатися чавун із кулястим графітом за ДСТУ 3925. Тільки цей матеріал, за вимогами нормативного документа, демонструє зівставні зі сталями характеристики міцності, відносного видовження та твердості (табл. 1, п. 7, 8). Але, як було вказано вище, сталі для фрикційних деталей візку підлягають термозміцненню для досягнення твердості 300...400НВ. Відомо, що перспективним методом термічної обробки чавуну є аустемперинг [5–8].

Чавуни навіть із пластинчастою формою графіту (СЧ) після ізотермічного гартування з формуванням структури матриці нижній бейніт у парі тертя із зразком 30ХГСА (твердість 400 НВ) демонструють зносостійкість майже у п'ять разів вищу за цей показник у стандартній парі «сталь – по сталі» [3]. Але завдяки пластинчастій формі графітної складової, цей клас чавунів характеризується незадовільними показниками пластичності (табл. 2).

Підвищення рівня компактності графітної складової у структурі чавуну до вермикулярної форми (ЧВГ) дозволяє одержувати значимий рівень

$\delta_{10} = 5,9 \%$  навіть у литому стані за наявності феритної матриці за вимогами ГОСТ 28394. Аустемперинг цих чавунів підвищує рівень міцності до  $\sigma_b = 600 \dots 1100$  МПа та твердості до 270...380 НВ (залежно від температури ізотермічного гартування). Однак у чавунах із вермикулярним графітом навіть аустемперинг не може підвищити пластичність вище за  $\delta_{10} = 6,2 \dots 6,4 \%$ .

Таблиця 2  
Механічні властивості термозміцнених методом аустемперингу чавунів з пластинчастим (СЧ), вермикулярним (ЧВГ) та кулястим (ВЧ) графітом

Марка чавуну	Тип матриці	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_{10}$ , %	Твердість, НВ
СЧ30	Нижній бейніт	301	0,0	285
СЧ20	Верхній бейніт	212	0,0	185
ЧВГ 45	Нижній бейніт	1150	6,2	382
ЧВГ 45	Верхній бейніт	609	6,4	270
ВЧ 100	Нижній бейніт	1480	7,5	480
ВЧ 100	Верхній бейніт	1080	18,0	305

Формування в чавуні графіту сферичної форми дозволяє під час ізотермічного гартування одержувати відливки, які при зіставному зі сталлями рівні пластичності в декілька разів перевищують відповідні характеристики тимчасового опору руйнуванню  $\sigma_b = 1000 \dots 1500$  МПа, твердості 300...480 НВ та зносостійкості залежно від температури аустемперингу (табл. 2).

Одержані результати дозволили розробити та впровадити у промислове виробництво національний нормативний документ [10] ТУ У 27.1 – 23365425 – 604 : 2006 «Чавун з кулястим графітом ізотермічно зміцнений методом аустемперингу для виливків». Рівень властивостей БЧКГ національних технічних умов порівняно з вимогами зарубіжних стандартів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3  
Механічні характеристики БЧКГ за ТУ У 27.1 – 23365425 – 604 : 2006 порівняно з вимогами національного та зарубіжних стандартів

№ з/п	Марка чавуну	Нормативний документ	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	Твердість, НВ
			Не менше			
1	EN-GJS-1200-2	EN 1564 : 1997	1200	500	2	340–440
2	Grade 1400/1100/1	ASTM A897M	1400	1100	1	388–477
	Grade 1200/850/4		1200	850	4	341–444
3	ВЧ 1000-2	ДСТУ 3925-99	1000	700	2	270–360
	ВЧ100	ГОСТ 7293-85				

Закінчення таблиці 3

4	БЧКГ 1300-2	ТУ У 27.1 – 23365425 – 604 : 2006	1300	1100	2	≥390
	БЧКГ 800-7		800	500	7	≥240

Таблиця 3 демонструє той факт, що вимоги національного нормативного документа не поступаються рівню властивостей, передумовлених зарубіжними стандартами.

Тобто досягнення чавунами з кулястим графітом після аустемперингу механічних характеристик зіставних із рівнями властивостей стандартних сталей, навіть легованих, дозволяє розглядати БЧКГ як безпосередніх конкурентів сталевим виробам. При цьому забезпечується значне, в декілька разів, підвищення показників зносостійкості [2].

#### ВИСНОВКИ

1. За результатами роботи був зроблений вибір БЧКГ як раціонального залізвуглецевого сплаву для виготовлення литих деталей фрикційного призначення візків вантажних вагонів.

2. Досягнення чавунами з кулястим графітом після аустемперингу механічних характеристик, що не поступаються рівню властивостей стандартно використовуваних (навіть легованих) сталей, дозволяє розглядати БЧКГ як безпосередніх конкурентів сталевим виробам при забезпеченні однозначної преференції, в декілька разів, за показниками зносостійкості.

3. Практична реалізація технологічних процесів аустемперингу на підприємстві українського виробника та розробка національного нормативного документа продемонстрували безумовну конкурентну здатність виробів із БЧКГ рівню стандартних вимог до відповідної зарубіжної продукції.

#### Література

1. Інструкція по ремонту візків вантажних вагонів / Міністерство транспорту України. – К. : Укрзалізниця. – ЦВ-0015. – 2000. – 145 с.

2. Узлов К. И. Исследование износостойкости высокопрочного чугуна ВЧ40 / К. И. Узлов, А. И. Бабаченко, О. В. Узлов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2000. – № 1. – С. 44–45.

3. Таран Ю. Н. Термоупрочненные чугуны с пластинчатым графитом для фрикционных деталей железнодорожного назначения / Ю. Н. Таран, К. И. Узлов, А. И. Бабаченко, Л. А. Моисеева // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2003. – № 2. – С. 67–70.

4. Узлов К. И. Анализ нормативных вимог до чавунів для фрикційних елементів залізничного призначення / К. И. Узлов // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. – Вып. 74. – Днепропетровск : ГВУЗ «ПГАСА», 2014. – С. 54–58.

5. Неижко И. Г. Термическая обработка чугуна / И. Г. Неижко. – К. : Наукова думка, 1992. – 208 с.

6. Бобро Ю. Г. Изотермическая закалка чугуна / Ю. Г. Бобро, В. М. Пивоваров. – Харьков : Прапор, 1968. – 112 с.
7. Elliott R. Cast Iron Technology / R. Elliott. – London, Boston, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington : Butterworths, 1988. – 244 p.
8. Krohn B. R. Austempered Ductile Iron Emerging as a Structural Material / B. R. Krohn // Modern Casting. – July 1984. – Pp. 26–30.
9. Промышленное освоение технологии аустемперинга чугунов с шаровидным графитом на предприятии «А. Стаки-Рейл» / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Дементьева [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность, 2006. – № 4. – С. 79–81.
10. Разработка нормативной документации на изотермически закаленный высокопрочный чугун с бейнитной матрицей / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Дементьева [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность, 2007. – № 3. – С. 46–48.