

УДК 620.1:621.74:629.4

К.І. Узлов, А.В. Дзюбіна, О.В. Мовчан

## ПРИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО МАТЕРІАЛУ ВІЗКОВОГО ЛИТВА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ

*Анотація:* запропоновані для виготовлення бокової рами візку вантажного вагону методом лиття за роз'ємними моделями – основна 20ГЛ та альтернативні 20Г1ФЛ, 30ГСЛ марки сталі, які відрізняються вмістом легуючих компонентів, завдяки чому мають різну кінетику структуроутворення і, як наслідок, кінцеву структуру, що дозволяє прогнозно забезпечувати можливості варіювання класу міцності виробу – К25, К30 та К35, відповідно.

**Ключові слова:** вантажний вагон, візок, сталеве литво, бокова рама, хімічний склад, легування, кінетика структуроутворення, мікроструктура, механічні властивості, клас міцності.

*Аннотация:* предложены для изготовления боковой рамы тележки грузового вагона методом литья по разъемным моделям – основная 20ГЛ и альтернативные 20Г1ФЛ, 30ГСЛ марки сталей, которые отличаются содержанием легирующих компонентов, благодаря чему имеют разную кинетику структурообразования и, как следствие, конечную структуру, что позволяет прогнозно обеспечивать возможности варьирования класса прочности изделия – К25, К30 и К35, соответственно.

**Ключевые слова:** грузовой вагон, тележка, стальное литье, боковая рама, химический состав, легирование, кинетика структурообразования, микроструктура, механические свойства, класс прочности.

*Summary:* suggested for making the side frames of freight cars bogies by casting two parts models – the main 20GL and alternative 20G1FL, 30GSL grade steels, which differ in content of alloying components, which have due to this different kinetics of structural formation and, as a consequence, the final structure, which allows for forecasting capabilities varying classes of products strength – K25, K30 and K35, correspondently.

**Keywords:** freight car, bogie, steel casting, side frame, chemical composition, alloying, kinetics of structural formation, microstructure, mechanical properties, grade of strength.

### Вступ

Залізниці є базовою галуззю економіки України. На них припадає 88% вантажообігу (без урахування трубопровідного транспорту) та 50% пасажирообігу на відміну від країн ЄС, де частка залізниць становить біля 8% [1]. «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки» [1], пріоритетом в оновленні рухомого складу встановлене забезпечення залізниць України рухомим складом переважно «нового покоління».

Для створення та освоєння виробництва вантажного рухомого складу «нового покоління» та його складових частин Програмою були висунуті базові принципи [1], зокрема, такі:

– Застосування при виробництві вантажних вагонів нових матеріалів з більш високими технічними характеристиками, а також комплектуючих підвищеної надійності.

– Збільшення терміну служби вагону, основних його деталей та вузлів в 1,5 – 2,0 рази.

– Технічні вимоги до литих деталей візків «нового покоління» повинні бути більш жорсткими за рахунок розроблення оптимального складу, структури і властивостей.

### Призначення раціонального технологічного процесу виготовлення литва бокової рами візку вантажного вагону

Рама бокова призначена [2, 3] для сприйняття навантажень, що передаються від кузова вагону, передачі їх на колісні пари, а також для розміщення ресорного комплекту. Рама бокова являє собою (рис. 1) вилівок, в середній частині якого розташований отвір для розміщення ресорного комплекту, а по кінцях отвори для установки колісних пар з буксовим вузлом.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд бокової рами

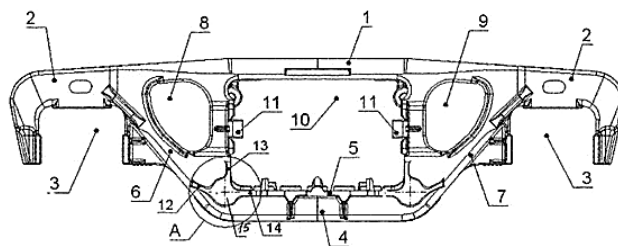


Рисунок 2 – Конструкція бокової рами

Бокова рама [4, 5] візку вантажного вагону містить (рис. 2) верхній пояс (1), нижній пояс (4), два похилі пояси (6, 7), що зв'язують верхній і нижній пояси. В зоні з'єднання нижнього поясу з кожним похилим поясом виконані ребра. Ребро (12) розташоване в нижній частині похилого поясу від периферії до центру, ребро (13) - уздовж криволінійної частини ресорного отвору в зоні зчленування нижнього поясу з похилим поясом, ребро (14) виконано як продовження опорної площадки (5) для ресорного комплекту. Симетрично відносно центральної площини рами в зонах сходження ребер утворені умови для спрямованої кристалізації виступи (15), що об'єднують ребра і зв'язані з їх бічними поверхнями.

Бокову раму візку 18-100 вантажних вагонів, враховуючи результати аналізу конструкції і геометричних параметрів [4,5], доцільно виготовляти за технологією формування з роз'ємними моделями з використанням односторонньої модельної плити і двох напівформ.

Запропонований технологічний процес лиття з успіхом реалізується в умовах сучасного конвеєрного виробництва ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод» [6].

Виливки виробництва ПАТ «КСЗ» являють собою великогабаритні (розміром до 2600Ч650Ч650мм) заготовки з переважаючими тонкими (від 12 до 15 мм) стінками, одержані на автоматичних лініях «Kunkel-Wagner». Швидкозмінне плаваюче модельне оснащення цих ліній дає можливість проводити одночасно виливки чотирьох найменувань і замінювати моделі в автоматичному режимі [6].

**Вибір основної та альтернативних марок сталей для виготовлення деталі «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону**

За вимогами Національного нормативного документу ДСТУ 7570-2014 [7] для виготовлення литва залізничного призначення передумовлено використання 9 марок сталей, хімічний склад яких представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сталей за ГОСТ 977-88 [8] для виготовлення литва залізничного призначення за ДСТУ 7570-2014 [7]

Марка сталі, ГОСТ 977-88	Масова доля елемента, %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Ti
Сталі конструкційні леговані								
20ГЛ	0,15-0,25	1,20-1,60	0,20-0,40	0,040	0,040	-	-	-
35ГЛ	0,30-0,40	1,20-1,60	0,20-0,40	0,040	0,040	-	-	-
20ГСЛ	0,16-0,22	1,00-1,30	0,60-0,80	0,030	0,030	-	-	-
30ГСЛ	0,25-0,35	1,10-1,40	0,60-0,80	0,040	0,040	-	-	-
20Г1ФЛ	0,16-0,25	0,90-1,40	0,20-0,50	0,050	0,050	-	0,06-0,12	≤0,050
20ФЛ	0,14-0,25	0,70-1,20	0,20-0,52	0,050	0,050	-	0,06-0,12	-
30ХГСФЛ	0,25-0,35	1,00-1,50	0,40-0,60	0,050	0,050	0,30-0,50	0,06-0,12	-
45ФЛ	0,42-0,50	0,40-0,90	0,20-0,52	0,040	≤0,040		0,05-0,10	≤0,030
32Х06Л	0,25-0,35	0,40-0,90	0,20-0,40	0,050	0,050	0,50-0,80	-	-

Серед наведених в таблиці 1 для виготовлення деталі «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону, вимогами залізничних нормативно-технічних документів [5, 9] передбачені – основна 20ГЛ та альтернативні 20ГФЛ і 30ГСЛ марки сталей за ГОСТ 977-88 [8].

Згідно з ГОСТ 977-88 вказані марки відносяться до ливарних, які виготовляють всіма способами лиття з легованих конструкційних сталей.

Для всіх вказаних марок сталей ГОСТ 977-88 передбачає обов'язкову термічну обробку великогабаритного литва – нормалізацію від температур 880-900°C, 930- 970°C, 870-890°C в залежності від марки сталі. Нормалізація, тобто, термічна процедура, яка забезпечує повну перекристалізацію матеріалу виливка, забезпечує усунення небажаної

Відманштеттової структури. Згідно з фундаментальними положеннями теорії термічної обробки [10, 11] швидкість охолодження деталей при нормалізації складає величину  $10^2$  °C/с. Саме за таким показником термокінетичного параметру термічної обробки в подальших дослідженнях аналізувалася термічна кінетика структуроутворення призначених для виготовлення деталі «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону сталей. З метою ліквідації можливого негативного впливу швидкого охолодження виливків при нормалізації, ГОСТ 977-88 [8] встановлює в якості обов’язкової процедури подальший відпуск литва при температурах 600-650°C, 570-600°C в залежності від марки сталі.

**Аналіз кінетики структуроутворення та властивості сталі 20ГЛ для виготовлення бокової рами вантажного вагону**

Типова мікроструктура сталі 20ГЛ, яка формується відповідно до термокінетичної діаграми [12] наведена на рисунку 3. Рисунок 3 свідчить про те, що структура марганцевої сталі 20ГЛ в нормалізованому стані є ферито-перлітною. Тобто, при охолодженні на повітрі відбуваються перетворення з утворенням феритних та перлітних структурних складових.

Механічні властивості, що забезпечуються структурним станом (див. рис. 3) Ф+П, литої сталі 20ГЛ за ГОСТ 977 [8] в нормалізованому стані бокової рами за ГОСТ 32400-2013 [9] представлені в таблиці 2.

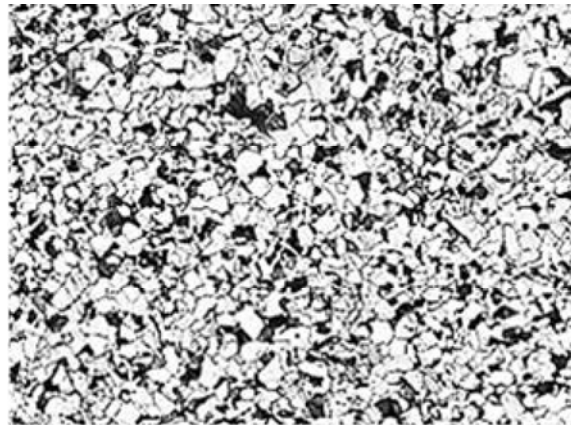


Рисунок 3 - Мікроструктура (x100) сталі 20ГЛ бокової рами після нормалізації з відпуском за режимами ГОСТ 977-88

Таблиця 2

Механічні властивості дослідної сталі 20 ГЛ за вимогами ГОСТ 977-88 [8]

Марка сталі	Нормалізація або нормалізація з відпуском						Гартування і відпуск					
	Категорія міцності	Межа плинності, $\sigma_T$ , МПа	Тимчасовий опір, $\sigma_B$ , МПа	Відносне подовження, $\delta$ , %	Відносне звуження, $\psi$ , %	Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Категорія міцності	Межа плинності, $\sigma_T$ , МПа	Тимчасовий опір, $\sigma_B$ , МПа	Відносне подовження, $\delta$ , %	Відносне звуження, $\psi$ , %	Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
20ГЛ	К25	275	540	18	25	491	КТ30	334	530	14	25	383

Тобто, низьколегована сталь марки 20ГЛ бокової рами з хімічним складом за ГОСТ 977-88 забезпечує розпад аустеніту при безперервному охолодженні відповідно до термодинамічної діаграми [12] з формуванням ферито-перлітної структури (рис. 3), завдяки якій клас міцності виробу забезпечує показник К25 (див. табл. 2).

**Аналіз кінетики структуроутворення та властивості сталі 20Г1ФЛ для виготовлення бокової рами вантажного вагону**

Типова мікроструктура сталі 20Г1ФЛ, яка формується при охолодженні за режимом нормалізації згідно з термодинамічною діаграмою [13], наведена на рисунку 4.



Рисунок 4 – Ферито-перліто-бейнітна мікроструктура (Ч100) марганцевої сталі легованої ванадієм [14]

Аналіз мікроструктури на рисунку 4 свідчить про те, що структура марганцевої, додатково легованої ванадієм, сталі 20Г1ФЛ в нормалізованому стані формується при охолодженні на повітрі з реалізацією дифузійних перетворень з формуванням з вихідного аустеніту феритних, а за ними, перлітних структурних складових. Крім того, відповідно до термодинамічної діаграми, в системі компонентів має місце, також, зсувно-дифузійна реакція з формуванням бейнітної структурної складової у кількості до 15%.

Механічні властивості, які забезпечені структурним станом (рис. 4) Ф+П+Б, лиття виробу «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону по ГОСТ 9246 та ГОСТ 32400 [5, 9] зі сталі 20Г1ФЛ за ГОСТ 977 [8], представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Механічні властивості дослідної сталі 20Г1ФЛ за вимогами ГОСТ 977-88 [8]

Марка сталі за ГОСТ 977-88	Категорія міцності	Межа плинності, $\sigma_t$ , МПа	Тимчасовий опір руйнуванню, $\sigma_b$ , МПа	Відносне подовження, $\delta$ , %	Відносне звуження, $\psi$ , %	Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
		Не менше				
Нормалізація або нормалізація з відпуском						
20Г1ФЛ	К30	314	530	17	25	491

Тобто, низьколегована ливарна сталь марки 20Г1ФЛ виробу «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону з хімічним складом згідно до ГОСТ 977 [8] забезпечує розпад аустеніту при безперервному охолодженні

відповідно до термодинамічної діаграми [13] з формуванням ферито-перліто-бейнітної структури (рис.4), завдяки якій клас міцності виробу досягає показника К30 (табл. 3).

**Аналіз кінетики структуроутворення та властивості сталі 30ГСЛ для виготовлення бокової рами вантажного вагону**

Типова Ф + Б мікроструктура сталі 30ГСЛ, яка формується при охолодженні за режимом нормалізації згідно з термодинамічною діаграмою [12], наведена на рисунку 5.

Механічні властивості, які забезпечені структурним станом (рис. 5) Ф+Б лиття виробу «Бокова рама» візку 18-100 вантажного вагону за ГОСТ 9246 та ГОСТ 32400 [5, 9] зі сталі 30ГСЛ за ГОСТ 977 [8] представлені в таблиці 4.



Рисунок 5 - Мікроструктура (Ч500) низьковуглецевої марганцевої сталі, легованої кремнієм [14]

Таблиця 4

Механічні властивості дослідної сталі 30ГСЛ за вимогами ГОСТ 977-88 [8]

Марка сталі	Категорія міцності						Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Категорія міцності					
	Межа плинності, σ <sub>т</sub> , МПа	Тимчасовий опір руйнуванню, σ <sub>в</sub> , МПа	Відносне подовження, δ, %	Відносне звуження, ψ, %				Межа плинності, σ <sub>т</sub> , МПа	Тимчасовий опір руйнуванню, σ <sub>в</sub> , МПа	Відносне подовження δ, %	Відносне звуження, ψ, %	Ударна в'язкість, КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	
30ГСЛ	Не менше	Не менше	Не менше	Не менше	Нормалізація або нормалізація з відпуском		Не менше	Не менше	Не менше	Не менше	Гартування і відпуск		
30ГСЛ	343	589	14	25	294		КТ40	392	638	14	30	491	

Таким чином, низьколегована лита сталь марки 30ГСЛ бокової рами візку вантажного вагону забезпечує розпад аустеніту при безперервному охолодженні відповідно до термодинамічної діаграми [12] з формуванням ферито-бейнітної структури (рис. 5) з голчастою морфологією фериту бейніту [10, 11], завдяки чому клас міцності виробу досягає показника К35 (табл. 4). Найважливіше те, що досягнутий ефект забезпечується в даному випадку завдяки легуванню базової сталі не коштовним і не дефіцитним елементом – кремнієм.

### Висновки

1. За результатами детального аналізу конструкції і геометричних параметрів бічної рами, рекомендований технологічний процес її виготовлення методом лиття з формуванням за роз’ємними моделями з односторонньою модельною плитою, який з успіхом реалізований на ПАТ КСЗ для великогабаритного (розміром до 2600Ч650Ч650мм) фасонного литва з переважно тонкими (від 12 до 15 мм) стінками, яке одержують на автоматичних конвеєрних лініях «Kunkel-Wagner».

2. За даними аналізу вимог нормативно-технічної документації обрані раціональні матеріали для виготовлення бокової рами візку вантажного вагону методом лиття за роз’ємними моделями – основна 20ГЛ та альтернативні 20Г1ФЛ, 30ГСЛ марки сталі.

3. На підставі проведених досліджень, в роботі встановлено, що основна 20ГЛ та альтернативні 20Г1ФЛ, 30ГСЛ марки сталі відрізняються вмістом легуючих компонентів, завдяки чому мають різну кінетику структуроутворення і, як наслідок, кінцеву структуру, яка дозволяє прогнозно забезпечувати можливості варіювання класу міцності виробу – К25, К30 та К35, відповідно.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки. – Київ: Укрзалізниця, ДНДЦ УЗ. 2009. – 299 с.
2. Вагони: Учебник для ВУЗов ж.-д. трансп. / Под ред. Л. А. Шадура. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980. — 439 с.
3. Классификация грузовых вагонов. Режим доступа: [http://www.pomogala.ru/konstrukt/konstrukt\\_24.html](http://www.pomogala.ru/konstrukt/konstrukt_24.html)
4. Інструкція по ремонту візків вантажних вагонів ЦВ-0015. – Київ: Укрзалізниця, 2000. – 144 с.
5. ГОСТ 9246 – 2004 Тележки двухосные грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520мм. Технические условия.
6. ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод» – Режим доступа: <http://steel.pl.ua/MyKSZ/admin/main.php>
7. ДСТУ 7570:2014 Візки вантажних вагонів. Деталі литі. Загальні технічні умови
8. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия.
9. ГОСТ 32400-2013 Рама боковая и балка надрессорная литых тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия
10. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с.
11. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1974. – 400 с.
12. Попова Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета – растворах в сплавах титана: Справочник термиста / Л.Е. Попова, А.А. Попов. – М.: Металлургия, 1991. – 503 с.
13. Чертовских Е.О. Методика регулируемой термообработки литых деталей / Е.О. Чертовских, Д.А. Габец, А.М. Марков, А. В. Габец. – Машиностроение: сетевой электронный научный журнал, 2015. – Том 3, №4. – с. 48-52
14. Металлография железа. Том II. «Структура сталей» (с атласом микрофотографий) / Перев. с англ. под ред. Ф.Н. Тавадзе. – М.: Металлургия, 1972. – 284с.