

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**А. В. Габец<sup>1</sup>, А. М. Марков<sup>2</sup>, Д. А. Габец<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Алтайский сталелитейный завод»,

<sup>2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,  
г. Барнаул, Россия

Приведены материалы комплексного исследования эксплуатационных свойств новой марки легированного чугуна ЧМН-35М. Определен его оптимальный химический состав. Исследованы физико-механические свойства. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности его использования для изготовления ответственных деталей подвижного состава железнодорожного транспорта, в частности колпака скользуна.

**Ключевые слова:** легированный чугун, модификатор, твердость, предел прочности, износостойкость

## IMPROVING THE RELIABILITY OF CRITICAL PARTS OF RAIL-WAY TRANSPORT

**A. V. Gabets<sup>1</sup>, A. M. Markov<sup>2</sup>, D. A. Gabets<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Limited liability company «Altai steel plant»,

<sup>2</sup> Altai State Technical University, Barnaul, Russia

The materials of complex research of operational properties of a new brand alloy cast iron CHMN-35M. Determined by its optimal chemical composition. The physico-mechanical properties. The obtained results allow to conclude about possibility of its use for the manufacture of critical parts of rolling stock of railway transport, in particular of a side bearing cap.

**Keywords:** alloy cast iron, modifier, hardness, tensile strength, wear resistance

Решение задачи повышения скорости и объемов грузоперевозок железнодорожным транспортом связано с повышением требований к ответственным деталям подвижного состава. Одной из таких деталей является колпак скользуна. Колпак устанавливается на опору в надрессорной балке тележки и предназначен для удерживания кузова вагона при действии боковых сил. Он представляет собой коробчатую конструкцию, выполненную, как правило, из стали. Условия работы скользуна таковы, что при определенных скоростях движения на криволинейных участках пути, возникающие боковые силы могут привести к хрупким и усталостным разрушениям скользуна, что в свою очередь может привести к сходу подвижного состава с путей.

В большинстве случаев основным материалом для изготовления колпака скользуна является сталь (сталь 20ГЛ, ГОСТ 977-88). При этом многолетний опыт эксплуатации подвижного состава в условиях повышенных скоростей и возросших объемов грузоперевозок свидетельствует, что данный материал не

может в полной мере обеспечить регламентированный пробег грузового вагона, составляющий согласно нормативной документации, не менее 160 тыс. км или трех лет эксплуатации.

На рисунке 1 в виде диаграммы представлена структура отказов (неисправностей) грузовой тележки вагона. Диаграмма построена на основе данных, полученных во время первого деповского ремонта на предприятии ОАО «Вагонная ремонтная компания – 2» [3, 4].

Как следует из диаграммы причины отказов грузовой тележки можно разбить на две основные группы: дефекты усталостного происхождения и износы трущихся поверхностей. При этом до 43 % отцепов тележки грузового вагона в текущий ремонт связано со скользуном: из них до 9 % – это неисправности скользуна и 34 % – превышению допустимых зазоров между его рабочими поверхностями.

В процессе эксплуатации колпака скользуна износу подвергается опорная поверхность колпака (рисунок 2). Величина износа определяется как расстояние между его ра-

бочей поверхностью и центром нижнего отверстия. Недопустимым износом считается износ более трех миллиметров.



Рисунок 1 – Структура отказов (неисправностей) грузовой тележки вагона



Рисунок 2 – Износ рабочей поверхности колпака скользуна

Проведенные ранее исследования [3,7] показывают, что эффективным материалом, показавшим удовлетворительные эксплуатационные характеристики при повышенных нагрузках, является серый чугун, в частности чугун СЧ35. Обладая более высокой, по сравнению со сталью, твердостью (твердость стали 20ГЛ – 140...160 НВ; чугуна – СЧ35 – 210...275 НВ) серый чугун содержит в своем составе графит, который в парах трения может выполнять функцию смазки. Однако и этих свойств не всегда достаточно для условий ударных нагрузок, которым подвержен колпак скользуна. В связи с этим является актуальной задача разработки состава специальной марки чугуна, обеспечивающего выполнение следующих эксплуатационных показателей:

– твердость в пределах 250...300 НВ, обеспечивающую повышенную, по сравнению с существующей, износостойкость, что позволит увеличить срок службы колпака;

– высокий запас прочности для снижения материалоемкости конструкции (временное сопротивление при растяжении ( $\sigma_B$ ) не менее 380 МПа);

– высокое содержание пластинчатого перлита в структуре, улучшающего трибологические свойства в образующих парах трения.

Результаты исследований, проведенные отечественными и зарубежными учеными Н. Г. Гиршовичем, Н. Н. Александровым, Б. С. Мильманом К. И. Ващенко, В. С. Шумихиным, Торбьерном, Д. Болтоном, К. Д. Миллисом и др., свидетельствуют, что указанные требования могут быть обеспечены на основе использования технологий легирования и модифицирования существующих марок чугунов [1,2,6,8]. При этом представляет интерес использование лигатур на основе марганца, молибдена, хрома, никеля и ванадия, а так же комплексных модификаторов, содержащих стронций, цирконий, барий, кремний, марганец и сплавы редкоземельных металлов.

Основой для разработки новой марки износостойкого чугуна (базовый материал) выбран серый чугун марки СЧ35 (ГОСТ 1412-85). Данный чугун используется в настоящее время для изготовления таких деталей тележки грузового вагона как «Клин фрикционный» (ТУ 3183-234-01124323-2007) и может так же применяться для изготовления колпака скользуна.

Исходный материал имеет следующий химический состав, представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав серого чугуна СЧ35 ГОСТ 1412-85

Марка	Массовая доля, в процентах				
	C	Si	Mn	P	S
СЧ35	2,9...3,0	1,2...1,5	0,7...1,1	0,2	0,12
Остальное – Fe					

Для определения оптимального химического состава нового износостойкого чугуна было проведено варьирование процентного содержания химических элементов исходного материала. В условиях ООО «Алтайский сталелитейный завод» (г. Барнаул, Россия) были получены экспериментальные образцы с различным химическим составом (Таблица 2):

– экспериментальные образцы 1 – чугун СЧ35 (базовый материал);

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

- экспериментальные образцы 2 – чугун, легированный никелем и ванадием;
- экспериментальные образцы 3 – чугун, легированный молибденом;
- экспериментальные образцы 4 – чугун легированный фосфором.

Исследование структуры полученных экспериментальных образцов показало, что наличие легирующих элементов повышенной концентрации привело к стабилизации аустенита и получению ледебуритной структуры. Предположительно этому способствовало быстрое остывание пробных брусков, о чем свидетельствует структура материала, образцов № 2 и № 4 (рисунок 3 и рисунок 4).

Таблица 2 – Химический состав экспериментальных образцов легированного чугуна

Экспериментальный образец	Массовая доля элементов, в процентах									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
1	3,24	1,59	0,69	0,040	0,014	0,11	0,04	0,08	0,03	0,002
2	3,36	1,54	0,82	0,036	0,012	0,15	1,56	0,34	0,005	0,60
3	3,12	1,56	0,83	0,045	0,012	0,17	0,39	0,19	1,18	0,006
4	2,57	1,44	0,74	0,754	0,009	0,12	0,39	0,14	0,03	0,010

Таблица 3 – Механические свойства экспериментальных образцов легированного чугуна

Экспериментальный образец	Твердость, единиц НВ	Временное сопротивление, МПа
1	324...358	140...158
2	430...378	165...179
3	407...450	220...235
4	372...403	145...162

Для оценки эксплуатационных свойств полученных экспериментальных образцов проведены их механические испытания. Эксперименты показали (таблица 3), что более высокие значения показателей механических свойств получены в легированном чугуне, содержащем такие легирующие элементы как ферромолибден ФМо60, ферроникелем ФН75 и феррованадием ФВд50.



Рисунок 3 – Сотовый ледебурит и перлит (экспериментальный образец 2)



Рисунок 4 – Пластинчатый ледебурит и перлит (экспериментальный образец 4)

Влияние химического состава модификаторов на механические свойства чугуна оценено при проведении серии экспериментов с использованием различных комплексных модификаторов. Как было установлено ранее [3, 4] для обеспечения требуемых трибологических свойств чугуна в качестве модифицирующих добавок, содержащих цирконий и кремний следует использовать двуокись циркония ( $ZrO_2$ ) и двуокись кремния ( $SiO_2$ ). Взаимодействия циркония со свободным азотом формирует образование включений нитрида циркония, что приводит к снижению склонности к образованию газовых раковин в отливке. В связи с этим выбран модификатор группы Z-GRAPH®Т, включающий в своем составе следующие химические элементы: кремний (60...70%), марганец (6,0...7,0%), цирконий (6,0...7,0%), барий (2,0...4,0%), алюминий (1,0...2,0%), кальций (1,0...2,0%), железа (76,0...92,0%).

Таблица 4 – Химический состав легированного и модифицированного чугуна

Экспериментальный образец	Массовая доля элементов, в процентах Fe – остальное								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
1	3,00	1,82	0,86	0,062	0,032	0,06	0,06	0,16	0,55
2	2,91	1,41	0,85	0,066	0,029	0,06	0,06	0,17	0,59
3	2,95	1,50	0,87	0,059	0,034	0,06	0,47	0,17	0,57
4	2,99	1,49	0,88	0,066	0,036	0,06	0,47	0,17	0,57

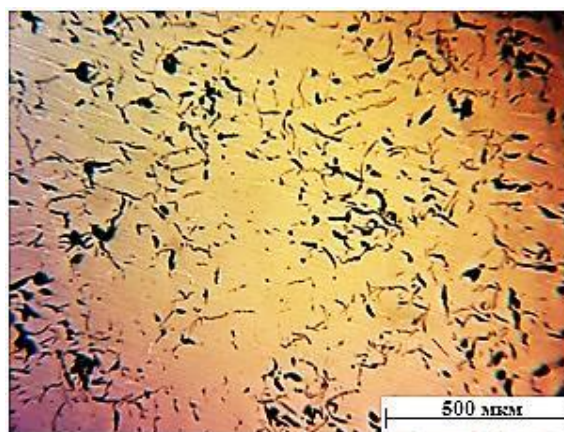


Рисунок 5 – Пластинчатая завихренная форма включений графита

Таблица 5 – Механические свойства образцов легированного и модифицированного чугуна

Экспериментальный образец	Твердость, единиц НВ	Временное сопротивление, МПа
1	276...302	540...558
2	253...286	400...424
3	291...312	490...411
4	308...330	549...570

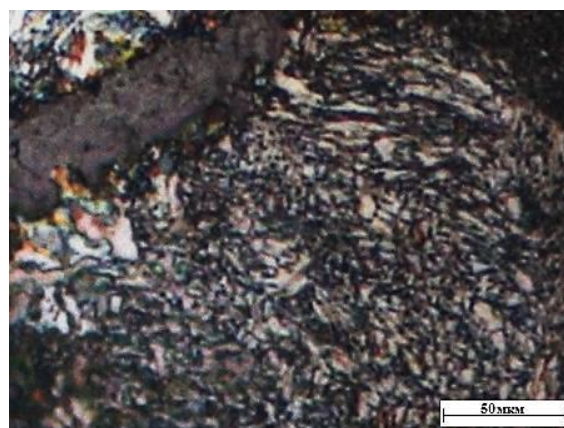


Рисунок 6 – Перлит и игольчатый феррит

Таблица 6 – Химический состав модифицированного чугуна ЧМН35

Марка	Основные элементы химического состава, %												
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Zr	Al	Ca	Ba	Cr	Cu	S	P
ЧМН-35М	2,5 ... 2,8	1,3 ... 1,5	0,7 ... 1,0	0,6 ... 0,9	0,5 ... 0,8	0,0005 ... 0,1	0,0005 ... 0,1	0,0005 ... 0,1	0,0005 ... 0,1	0,05 ... 0,3	0,05 ... 0,3	0,05 ... 0,1	0,05 ... 0,1
Остальное – Fe													

Таблица 7 – Механические свойства образцов модифицированного чугуна ЧМН35

Марка	Временное сопротивление при растяжении, МПа, (кгс/мм <sup>2</sup> ), не менее	Твердость по Бринеллю, НВ	
		не менее	не более
ЧМН-35М	350 (35)	250	300
Допускается превышение минимального значения временного сопротивления при растяжении не более чем на 100 МПа (10 кгс/мм <sup>2</sup> )			



Рисунок 7 – Включения цементита

Таким образом для снижения влияния отбела, повышения прочности и износостойкости чугуна технология его получения должна включать операции легирования чугуна СЧ35 молибденом и никелем и последующее модифицирование комплексным модифика-

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

тором «Z-GRAPH®T». Отработано два варианта технологии:

– первый вариант (образцы № 1, и № 2): вся масса жидкого синтетического чугуна, легированного молибденом, модифицирована комплексным модификатором «Z-GRAPH®T»;

– второй вариант (образцы № 3, и № 4): вся масса жидкого синтетического, легированного молибденом и никелем, модифицирована комплексным модификатором «Z-GRAPH®T».

Химический состав экспериментальных образцов, полученных по указанным вариантам технологии, приведен в таблице 4.

Исследование механических свойств экспериментальных образцов показало, что второй вариант получения чугуна позволяет получить более высокие эксплуатационные показатели: образцы № 3 и № 4 имеют более высокую твердость и временное сопротивление на разрыв, по сравнению с образцами № 1 и № 2 (таблица 5). При этом значения временного сопротивления всех четырех образцов значительно превосходит величину временного сопротивления образцов чугуна марки СЧ35 ГОСТ 1412-85 (исходный материал).

Полученные результаты и проведенный патентный поиск позволили заявить полученный чугун в качестве изобретения (Патент на изобретение № 2562554). Данному материалу присвоен индекс ЧМН-35М. Его химический состав и основные механические свойства описаны в таблицах 6 и 7.

Качества нового чугуна и его свойства оценены в условиях лабораторных и стендовых испытаний. Анализ шлифов в нетравленном виде позволил идентифицировать графитную фазу. Форма включений графита – пластинчатая завихренная (ПГф2), длина включений графита – ПГд45 – ПГд90, распределение включений графита - смешанное: равномерное (ПГр1) и участки неравномерного распределения (ПГр2), количество включений графита – ПГ6. Исследование металлической матрицы показало, что в структуре металлической основы легированного чугуна вместе с перлитом присутствует игольчатый феррит и цементит. При этом металлическая матрица чугуна ЧМН-35М имеет перлитно-ферритную металлическую основу, в которой 85 % занимают перлитные области и 15 % занимает феррит, насыщенный сеткой из отдельных карбидных включений (рисунки 5 – 7).

Для оценки эксплуатационных свойств чугуна ЧМН-35М были проведены его сравнительные триботехнические исследования с

серийным серым чугуном марки СЧ35, путем моделирования работы узла «Опора кузова вагона – колпак скользуна».

В качестве оборудования для исследования выбрана машина трения модели 2168 УМТ. Экспериментальные образцы выполнены в виде пар трения «колодка-вал». Материал валов – чугун марок СЧ35 и ЧМН-35М, материал колодок – стали 20ГЛ, 30ХГСА и 09Г2С. В ходе эксперимента контролировали изменение весового износа во времени для различных сочетаний материала валов и колодок. Полученные результаты приведены в таблице 8.

Как видно из результатов, во всех сочетаниях чугун марки ЧМН-35М показал лучшую (примерно в 1,5 раза) износостойкость, по сравнению с чугуном СЧ35. При этом значения суммарного износа (износ вала плюс износ колодки) в парах с чугуном ЧМН-35М также меньше.

Таблица 8 – Результаты исследования износостойкости

№	Образец	Материал	Масса весового износа, гр.	Суммар- ный износ пар трения, гр.
1	Колодка	30ХГСА	0,12	1,13
	Вал	СЧ35	1,01	
2	Колодка	30ХГСА	0,05	0,56
	Вал	ЧМН-35М	0,51	
3	Колодка	20ГЛ	0,04	1,02
	Вал	СЧ35	0,98	
4	Колодка	20ГЛ	0,12	0,78
	Вал	ЧМН-35М	0,66	
5	Колодка	09Г2С	0,45	0,80
	Вал	20ГЛ	0,35	
6	Колодка	09Г2С	0,13	0,69
	Вал	ЧМН-35М	0,56	

Таким образом, разработанный новый состав легированного модифицированного чугуна ЧМН-35М, отличающийся от аналогов распределением графитовых включений (сочетание равномерного и неравномерного распределения), а также наличием в его структуре свободного феррита, обладает повышенной износостойкостью. Это позволяет рекомендовать его для изготовления деталей тяжелонагруженных узлов тележки грузового вагона.

**Список литературы**

1. Александров Н.Н. Пути повышения эффективности модифицирования серого чугуна / Н.Н.Александров, Б.С. Мильман, Л.С.Капустина // Производство новых лигатур и их применение в литейном производстве с целью экономии металла. – Челябинск. 1979. – С.88-89.
2. Ващенко К.И., Шумихин В.С. Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок: Учебное пособие. — Киев: Высшая школа, 1992. — 246 с.: ил.
3. Габец А.В. Исследование свойств и разработка эффективной конструкции опоры кузова вагона / А.В.Габец, А.М.Марков, Д.А.Габец //.- Барнаул, 2016.
4. Габец А.В. Моделирование эксплуатационных свойств деталей изготовленных из специального чугуна ЧМН-35М / А.В.Габец, А.М.Марков, Д.А.Габец // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 36-44.
5. Габец А.В. Оценка износа фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона / А.В.Габец, И.В.Левкин, М.В.Сапетов, А.В.Семенов // Ползуновский вестник. – 2015. № 4-1. – С. 16-18.
6. Гиршович Н.Г. Чугунное литьё. Л.-М. Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии. 1978. 708 с.
7. Сухов А.В. Повышение износостойкости пары трения клин фрикционный - планка фрикционная клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона / А.В.Сухов, Б.В.Борщ, А.В.Габец // Вестник науч-но-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2015. № 5. – С. 25-29.
8. Торбьерн,Скаланд. Исследование продолжительности действия модификаторов в чугуне с графитом разной формы // Литейное производство. 1999. No 6.

**Габец Александр Валерьевич**<sup>1</sup> – к. т. н.,  
директор по развитию

**Марков Андрей Михайлович**<sup>2</sup> – д. т. н., профессор

**Габец Денис Александрович**<sup>2</sup> – аспирант

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью  
«Алтайский сталелитейный завод»  
(ООО «АСЛЗ»), г. Барнаул, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова»  
(АлтГТУ), г. Барнаул, Россия