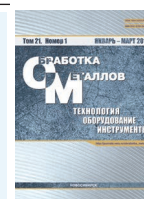




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov


Исследование влияния легирующих элементов на структуру и свойства серых чугунов, работающих в условиях ударно-фрикционного износа

Денис Габец^а, Андрей Марков^б

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, г. Барнаул, 656038, Россия

^а  <https://orcid.org/0000-0003-0304-4407>,  gabets22@mail.ru, ^б  <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>,  andmarkov@inbox.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 669.15-196.55

История статьи:

Поступила: 15 марта 2018

Рецензирование: 28 ноября 2018

Принята к печати: 10 декабря 2018

Доступно онлайн: 15 марта 2019

Ключевые слова:

Легирующие чугуны
Ударно-фрикционный износ
Износостойкость
Мартенсит
Легирующие никелем
Легирующие молибденом
Износостойкий чугун
Графит

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных условиях развития промышленности эффективным методом повышения эксплуатационной надежности серых чугунов, работающих в сложных режимах ударно-фрикционного износа, является их комплексное легирование. Применение технологии легирования позволяет добиться значительного увеличения механических свойств за счет изменения структуры и характера распределения графита в чугуне. Цель данного исследования заключается в установлении зависимостей влияния легирующих элементов на эксплуатационные свойства серого чугуна, работающего в условиях ударно-фрикционного износа. **Методы исследования.** В статье представлен процесс изготовления чугуна с применением технологии легирования. Исследована микроструктура и механические свойства разработанного чугуна ЧМН-35М. Проведены фратографические исследования поверхности после испытаний чугуна на ударный изгиб. Определение износостойкости проводили на специально изготовленных образцах методом сравнения весового износа со стандартными материалами. **Результаты и обсуждения.** В ходе выполнения исследования удалось установить влияние концентрации добавок никеля и молибдена на механические свойства разработанного чугуна. Выявлено, что легирование серого чугуна никелем от 0,5 до 0,8 % и молибденом от 0,6 до 0,9 % является оптимальным и приводит к увеличению механических свойств и твердости в пределах допустимых отраслевыми стандартами. Так, предел прочности разработанного износостойкого чугуна составляет от 395 до 450 МПа, а твердость находится в пределах от 276 до 318 НВ. Установлено, что применение технологии легирования способствует формированию структуры с более равномерным распределением графитных включений, что способствует увеличению величины предела прочности сплава в условиях одноосного статического растяжения. Проведен анализ результатов фратографических динамических разрушенных образцов, механизм разрушения серийного и легированного чугуна одинаков, разрушение образцов происходит по хрупкому типу с явным преобладанием межзеренного разрушения, поверхность разрушения в легированном чугуне однороднее. Трибологические исследования разработанного материала показывают, что износостойкость легированного чугуна выше серийного СЧ35 на 50 %.

Для цитирования: Габец Д.А., Марков А.М. Исследование влияния легирующих элементов на структуру и свойства серых чугунов, работающих в условиях ударно-фрикционного износа // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 70–81. – doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-70-81.

Введение

В современных условиях развития машиностроения остро стоит вопрос надежности и долговечности узлов, работающих в сложных режимах ударно-фрикционного износа. Детали тормозных систем, рабочие части горнодобыва-

ющих и рудоперерабатывающих машин, детали тележек грузовых вагонов должны обеспечивать высокую надежность при воздействии ударных нагрузок (иметь высокие механические свойства) и высокую износостойкость в различном диапазоне температур. При этом они должны удовлетворять строгим требованиям стандартов в целях обеспечения необходимой твердости и механических свойств материалов. Одной из таких деталей является колпак скользуна тележки грузового вагона. Колпак может быть литой чугунный или штампованной стальной.

*Адрес для переписки

Габец Денис Александрович, инженер НИС
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
пр. Ленина, 46, г. Барнаул, 656038, Россия
Тел.: 89635332000, e-mail: gabets22@mail.ru

Методика исследований

В качестве недорогих и эффективных материалов для такого вида деталей могут применяться серые и высокопрочные чугуны. Высоких эксплуатационных показателей чугуна можно достичь при формировании перлитной или ферритно-перлитной структуры, содержащей равномерно распределенные графитные включения [1 и 2]. Одним из наиболее эффективных способов получения таких чугунов является комплексное легирование. В качестве легирующих элементов могут применяться ванадий, молибден, никель, хром, кремний, фосфор и др. [3].

Основное влияние на механические и фрикционные свойства чугунов оказывает количество, форма и распределение графита в структуре. При работе чугуна в условиях ударно-фрикционного износа графит играет двойную роль. С одной стороны, он является непрочной составляющей и может выступать концентратором зарождения трещины, а с другой – углерод в виде графита играет роль твердой смазки, что способствует уменьшению сопротивления силам трения. Кроме того, графит путем заполнения мелких пор выравнивает удельные нагрузки, действующие на трущихся поверхностях деталей [4].

Исследования режимов работы, технических характеристик, материалов изготовления и служебных свойств деталей, работающих в сложных режимах ударно-фрикционного износа, проводились отечественными и зарубежными специалистами начиная с XX века и по сегодняшний день. Однако публикаций, посвященных исследованиям влияния легирования серых чугунов на его эксплуатационные свойства, связанные с интенсивным износом и динамическими нагрузками, крайне мало.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния легирующих элементов на свойства серых чугунов, работающих в условиях ударно-фрикционного износа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Анализ влияния легирующих элементов на строение и механические свойства серого чугуна.
2. Испытание чугуна на ударный изгиб. Оценка разрушения, проведение фрактографических исследований динамически разрушенных образцов.
3. Сравнительные триботехнические испытания образцов из чугуна ЧМН-35М, серого чугуна СЧ35, сталей 09Г2С и 30ХГСА.

Основные требования к получаемому путем легирования износостойкому чугуну – относительно низкая себестоимость за счет снижения концентрации дорогих легирующих элементов. При этом механические свойства разрабатываемого материала должны быть достаточно высокими для работы в условиях ударно-фрикционного износа (временное сопротивление при растяжении – не менее 350 МПа, твердость 250...300 НВ). Анализ существующих технологий получения износостойких ударопрочных чугунов показал, что имеется зависимость роста механических и прочностных свойств с увеличением процентного содержания никеля и молибдена [2 и 6].

В качестве базового материала для исследований был выбран серый чугун СЧ35 (ГОСТ 1412–85), легированный никелем и молибденом. Отличительная особенность данного сплава – его высокие эксплуатационные и износостойкие свойства. Основное применение данного чугуна – изготовление литых деталей тележки грузового вагона, работающих в условиях ударно-фрикционного износа, таких как фрикционный клин и колпак скользуна. Для корректировки процентного содержания никеля и молибдена, а также проведения исследования влияния легирующих элементов на механические свойства материала на ООО «Алтайский сталелитейный завод» было изготовлено по 30 экспериментальных образцов чугуна с различным процентным содержанием никеля и молибдена.

Процесс изготовления образцов опытной партии для исследования влияний концентрации никеля и молибдена на механические свойства чугуна заключается в следующем: в печь производилась завалка шихты категории 4А по ГОСТ 2787–75 в объеме 0,1. После расплава и науглероживания шихты производился забор пробы для определения химического состава сплава. Далее производилась корректировка состава сплава в печи (науглероживателем МУ-90) и доведение содержания химического состава материалов в расплаве до требуемых значений эксперимента.

После растворения углерода проводилось легирование, на зеркало металла вводилось поэтапно необходимое количество ферромолибдена

и ферроникеля. Предел показателей содержания легирующих элементов в чугунах по требованиям эксперимента варьировался: по никелю от 0 до 1,2 %, по молибдену от 0 до 1,3 %. Далее производилось увеличение температуры в печи до 1400 °С с введением расчетного взвешенного количества молибдена и никеля в соответствии с шихтовым листом.

После положительного заключения лаборатории по химическому составу к индукционной печи подавали разогретый разливочный ковш, закрепленный на электронных весах. Температура металла перед сливом из печи достигала 1435...1450 °С. Время заливки форм и образцов составляло 5 мин.

Согласно отраслевым требованиям к материалам деталей тележки грузового вагона твердость должна находиться в пределах от 250 до 300 HB, а предел прочности при растяжении – не менее 350 МПа.

На основе полученных результатов скорректирована рецептура легирующих элементов, разработаны технические условия (ТУ 0812-001-10036140–2014) на химический состав и механические свойства, приведенные в табл. 1 и 2, материалу отливки присвоен индекс ЧМН-

35М, а также получен патент на изобретение № 2562554 [5].

Для оценки свойств разработанного материала были изготовлены образцы для исследования химического состава, структуры и механических свойств. С целью подтверждения результатов были получены заключения по химическому составу и механическим свойствам от четырех независимых лабораторий, усредненные данные представлены в табл. 3 и 4.

Исследование микроструктуры чугуна проводилось в соответствии с ГОСТ 3443 на микроскопе Nikon Eclipse MA200 методом сравнения с эталонными шкалами. Форму, размер, распределение и площадь графитных включений определяли при увеличении в 100 крат на нетравленном шлифе. Тип металлической основы чугуна и дисперсность перлита определяли после травления в 4 %-м спиртовом растворе азотной кислоты при увеличении в 500 крат.

Фрактографические исследования осуществляли на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 6460LV при увеличениях до 1000 крат. Исследовали поверхность разрушения образцов после испытаний на ударный изгиб.

Таблица 1

Table 1

Химический состав чугуна марки ЧМН-35М

Chemical composition of the iron CHMN-35M

Марка Чугуна / Grade	Массовая доля элементов, % Fe – остальное Main elements' weight content, % Fe – other								
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	P	S
						не более / no more			
ЧМН-35М / CHMN-35M	2,5...2,9	1,3...1,5	0,7...1,0	0,6...0,9	0,5...0,8	≤0,3	≤0,3	≤0,2	≤0,1

Таблица 2

Table 2

Механические свойства чугуна марки ЧМН-35М

Mechanical properties of the iron CHMN35

Марка Чугуна / Grade	Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее / Tensile strength, MPa, at least	Твердость по Бринеллю, HB / Brinell hardness, HB	
		не менее / At least	не более / At most
ЧМН-35М / CHMN-35M	350	250	300
Допускается превышение минимального значения временного сопротивления при растяжении не более чем на 100 МПа (10 кгс/мм ²) / The minimum value of the tensile strength can exceed not more than 100 MPa			

Таблица 3

Table 3

Полученный химический состав чугуна марки ЧМН-35М**The resulting chemical composition of cast iron CHMN-35M**

ЧМН-35М / CHMN-35M	Массовая доля элементов, % Fe – остальное Main elements' weight content, % Fe – other								
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	S	P
Средний / Average	2,71	1.41	0,76	0,716	0,685	0,059	0,035	0,043	0,025

Таблица 4

Table 4

Полученные механические свойства чугуна марки ЧМН-35М**Received mechanical properties of the cast iron CHMN35**

Марка Чугуна / Grade	Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее / Tensile strength, MPa, at least	Твердость по Бринеллю, <i>HB</i> / Brinell hardness, <i>HB</i>	
		от / from	до / before
ЧМН-35М / CHMN-35M	395	276	318

Трибологическую оценку чугуна проводили с помощью машины трения модели 2168 УМТ. Для установления зависимости износа материалов были специально изготовлены образцы (рис. 1), представляющие собой пару трения «вал – колодка» (рис. 2). В качестве испытательного оборудования используется машина трения модели 2168 УМТ. Исследования выполнялись с использованием специально изготовленных образцов, представляющих собой пару «вал – колодка». Образцы в виде вала были изготовлены из серийного серого чугуна марки СЧ35 и чугуна марки ЧМН-35М. В качестве контртела выступают колодки, изготовленные из стали 20ГЛ,

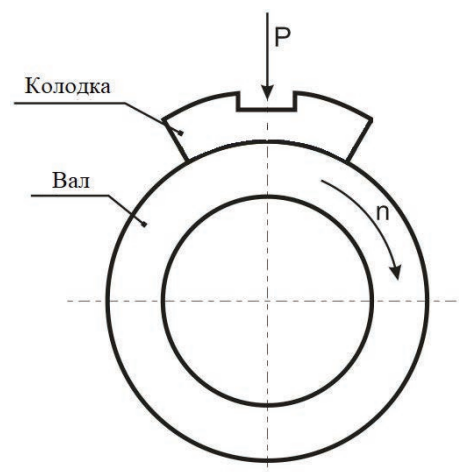


Рис. 2. Схема испытания

Fig. 2. The test scheme



Рис. 1. Фотография образцов

Fig. 1. Photo samples

30ХГСА и 09Г2С. Данные материалы используются при изготовлении деталей и узлов тележек грузовых вагонов, работающих в условиях сухого трения скольжения.

Испытания на ударный изгиб осуществлялись на маятниковом копре МК-30 в соответствии с ГОСТ 9454–78 на образцах (*KCU*) и (*KCV*) при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения эксперимента была выявлена зависимость влияния процентного содержания никеля и молибдена на механические

свойства разрабатываемого чугуна. Исследование механических свойств образцов чугуна, легированного никелем в пределах от 0 до 1,24 %, свидетельствует о том, что рациональное содержание никеля в чугуне находится в пределах от 0,5 до 0,8 %. При легировании никелем менее 0,5 % снижаются твердость и механические свойства материала, а при увеличении массовой доли элемента более 0,8 % твердость и механические свойства практически не изменяются (рис. 3 и 4).

Исследование механических свойств образцов чугуна, легированного молибденом в преде-

лах от 0 до 1,32 %, свидетельствует о том, что рациональное содержание молибдена в чугуне находится в пределах от 0,6 до 0,9 %. При легировании молибденом менее 0,6 % снижается твердость и механические свойства материала. Увеличение содержания молибдена более 0,9 % приводит к повышению твердости более 300 *HV*, что не удовлетворяет требованиям эксперимента (рис. 5). Предел прочности при растяжении с увеличением содержания молибдена более 0,9 % увеличивается незначительно (рис. 6) [3, 7, 8].

Поскольку свойства чугунов во многом определяются структурой его основы и графит-

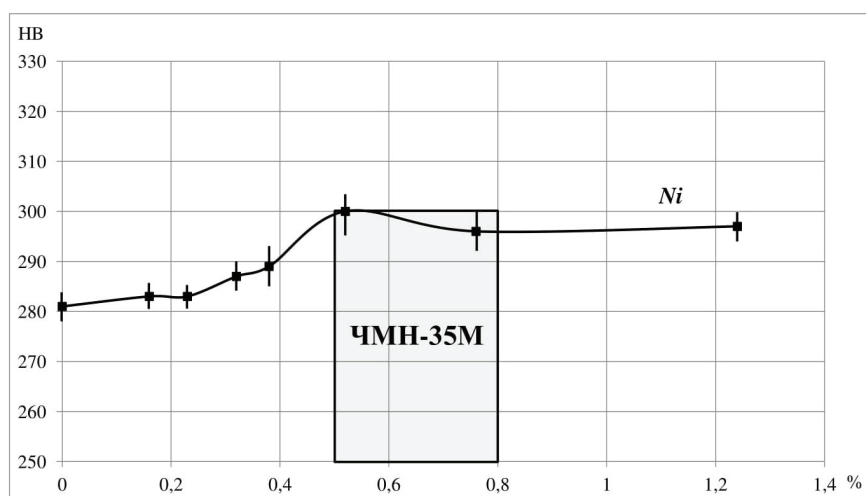


Рис. 3. Влияние никеля на твердость чугуна ЧМН-35М

Fig. 3. The effect of nickel on the hardness of cast iron CHMN-35M

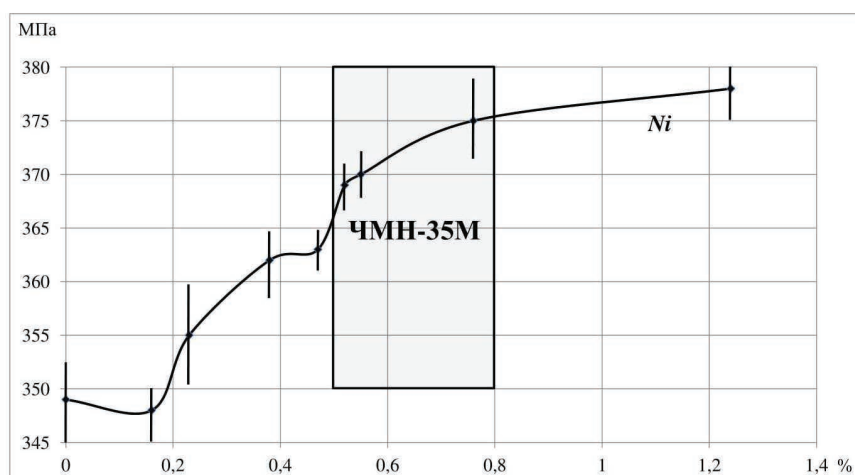


Рис. 4. Влияние никеля на предел прочности при растяжении чугуна ЧМН-35М

Fig. 4. The effect of nickel on tensile strength of cast iron CHMN-35M

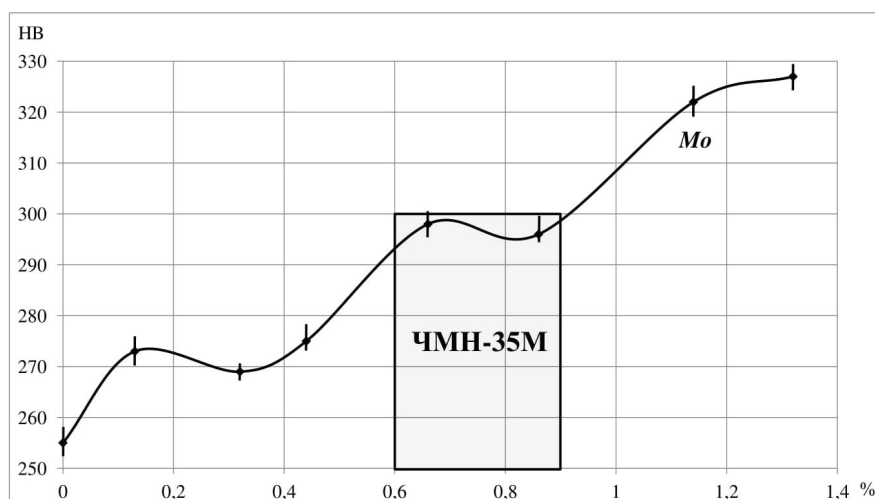


Рис. 5. Влияние молибдена на твердость чугуна ЧМН-35М

Fig. 5. The effect of molybdenum on the hardness of cast iron CHMN-35M

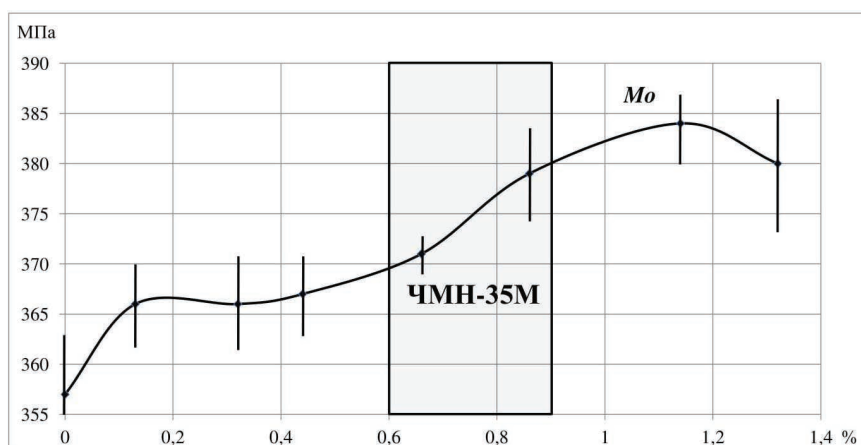


Рис. 6. Влияние молибдена на предел прочности при растяжении чугуна ЧМН-35М

Fig. 6. The effect of molybdenum on tensile strength of cast iron ChMN-35M

ной фазы, был проведен сравнительный анализ структурного состояния образцов после механических испытаний.

Распределение графитных включений в чугуне СЧ35 – смешанное междендритное неравномерное (рис. 7, а). В чугуне ЧМН-35М – смешанное (равномерное и участки неравномерного) распределение графита (рис. 7, б). Металлическая основа чугуна СЧ35 полностью перлитная (рис. 8, а). Основные отличия легированного чугуна заключаются в структуре металлической основы: наличие перлита и феррита (рис. 8, б). Микроанализ чугунов по величине центров кристаллизации свидетельствует о более дисперсной металлической основе чугуна ЧМН-35М (рис. 9, а и б) [8–12].

Результаты исследования образцов на ударный изгиб представлены в табл. 5; характер разрушения – макрорупкий. Из приведенных в табл. 5 данных видно, что легированный чугун, так же как и чугун марки СЧ 35, не чувствителен к концентраторам напряжений. Ударная вязкость образцов практически одинакова. Это обусловлено наличием графитных включений, которые из-за низкой прочности при разрушении могут рассматриваться как микротрещины [12–14].

Механизм разрушения чугуна СЧ35 (рис. 10, а) и легированного чугуна ЧМН-35М (рис. 10, б) одинаковый как в области зарождения, так и в области распространения трещины. Разрушение проходит по хрупкому механизму с явным преобладанием межзеренного разрушения [15].

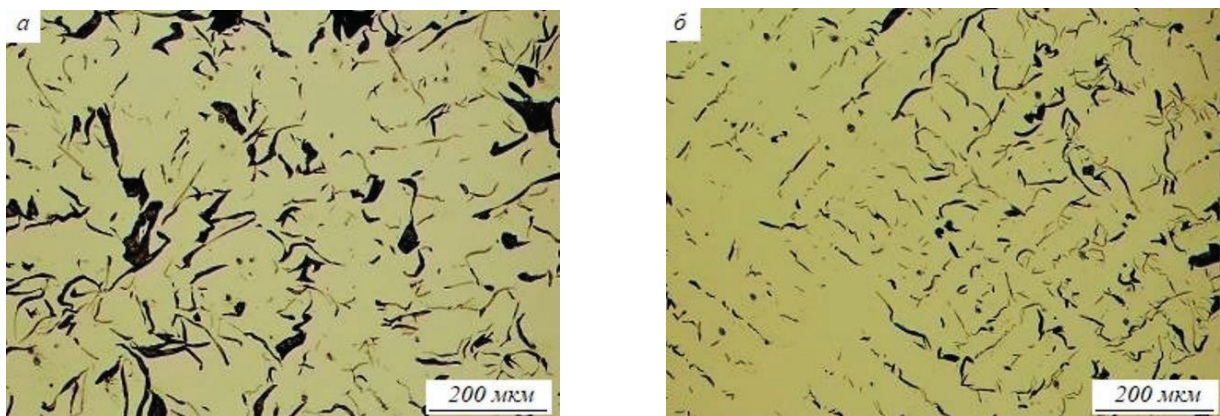


Рис. 7. Распределение графита:

a – смешанное и неравномерное в чугуне СЧ35; *б* – смешанное в чугуне ЧМН-35М

Fig. 7. Graphite distribution:

a – mixed and nonuniform in SCH35 cast iron; *б* – mixed in CHMN-35M cast iron

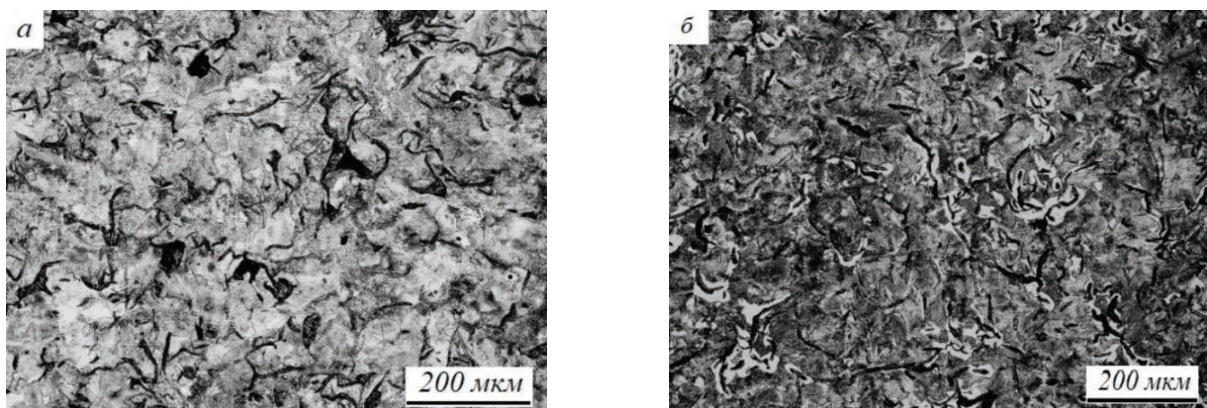


Рис. 8. Основа:

a – перлитная в чугуне СЧ35; *б* – перлитно-ферритная в чугуне ЧМН-35М

Fig. 8. Matrix:

a – pearlite in SCH35 cast iron; *б* – pearlite-ferritic in iron-stone CHMN-35M

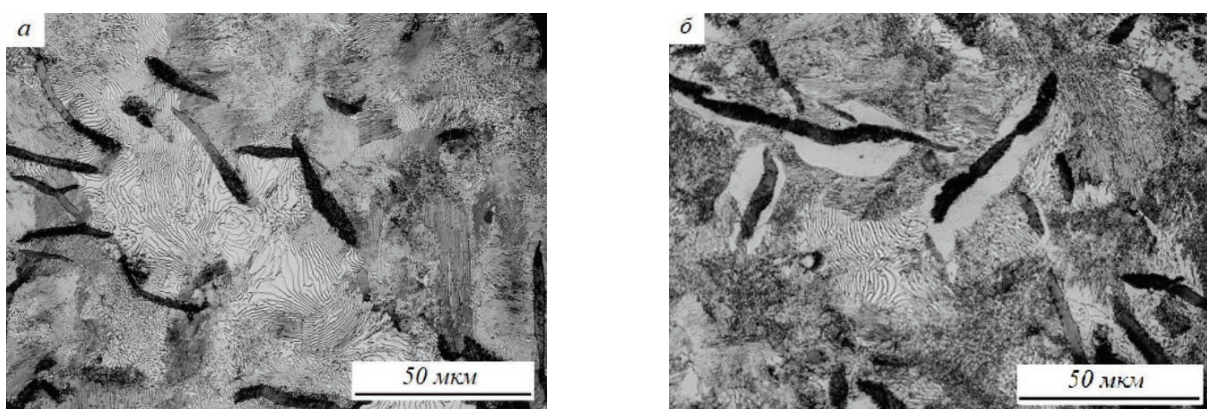


Рис. 9. Дисперсность:

a – перлита в чугуне СЧ35; *б* – перлита и феррита в чугуне ЧМН-35М

Fig. 9. Dispersion:

a – pearlite in cast iron SCH35; *б* – pearlite and ferrite in PMN-35M iron

Результаты испытаний на ударный изгиб

Impact test results

№ п/п	Марка чугуна / Grade	Ударная вязкость KCU , Дж/см ² / Impact strength KCU , J/cm ²	Ударная вязкость KCV , Дж/см ² / Impact strength KCV , J/cm ²
1	ЧМН-35М / CHMN-35M	107...112	102...108
2	СЧ35 / SCH35	89...95	95...101

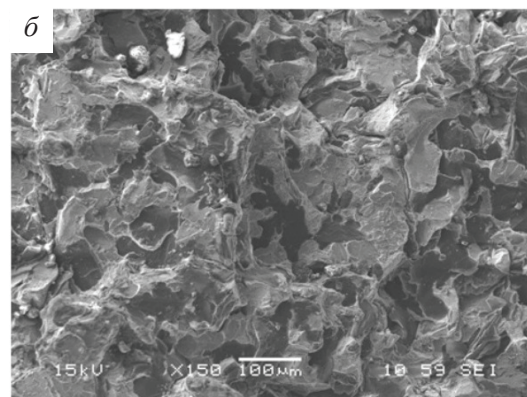
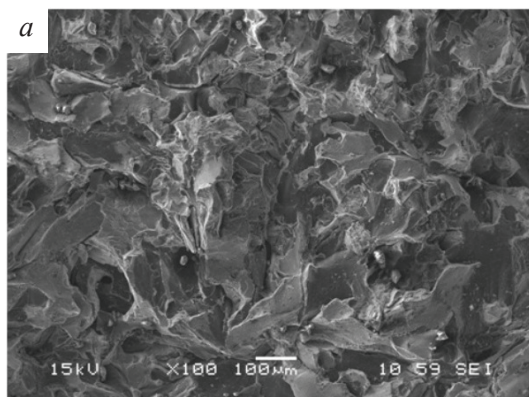


Рис. 10. Фрактограмма излома после испытаний на ударный изгиб:

а – чугуна СЧ35; б – чугуна ЧМН-35М

Fig. 10. Fracture pattern after impact testing:

а – cast iron SCH35; б – FMN-35M cast iron

В изломах присутствуют фасетки хрупкого скола, их размер в области зарождения и распространения трещины практически одинаковый. В легированном чугуне ЧМН-35М строение поверхности разрушения однороднее, размер фасеток скола примерно в 1,5 раза мельче, что связано с более дисперсной металлической основой чугуна [3, 16].

Проведен ряд сравнительных триботехнических исследований для установления зависимости весового износа от длины пути в результате взаимодействия трущихся поверхностей. Результаты определения износостойкости (потери массы) «вала» и «колодки» представлены в табл. 6 [17–19].

Результаты сравнительных трибологических испытаний показывают, что износостойкость валов из чугуна ЧМН-35М значительно выше, чем валов из чугуна СЧ35, а коэффициент трения в парах трения чугунов практически одинаков за счет присутствия в структуре графита. Анализ суммарного износа пар трения говорит о том,

что износостойкость разработанного чугуна в парах трения со сталями 30ХГСА и 20ГЛ выше примерно на 50 %. На основании сравнения результатов испытаний можно утверждать, что чугун ЧМН-35М полностью соответствует эксплуатационным требованиям, что подтверждается испытаниями на износостойкость.

Выводы

1. Исследование влияния легирующих элементов в чугуне ЧМН-35М выявило зависимость влияния концентрации никеля и молибдена на твердость и механические свойства разработанного материала. Ввод никеля от 0,5 до 0,8 % и молибдена от 0,6 до 0,9 % является наиболее рациональным и способствует преобразованию структуры сплава, образованию более дисперсной металлической основы, что сопровождается равномерным распределением графитовых включений и повышением комплекса механических свойств материала от 350 до 395 МПа.

Таблица 6

Table 6

Результаты определения износостойкости
Results of ware resistance study

№ п/п	Пара трения (колодка – вал) / Friction pair (hob – shaft)	Коэффициент трения / Friction coefficient	Масса весового износа, г / Weight wear mass, g		Суммарный износ, г / Accumulative wear of friction couples, g
			колодка / hob	вал / shaft	
1	СЧ35 – 30ХГСА / SCH35 – 30HGSA	0,11...0,13	0,12	1,01	1,13
2	ЧМН-35М – 30ХГСА / CHMN-35M – 30HGSA	0,10...0,12	0,05	0,51	0,56
3	СЧ35 – 20ГЛ / SCH35 – 20GL	0,12...0,13	0,04	0,98	1,02
4	ЧМН-35М – 20ГЛ / CHMN-35M – 20GL	0,11...0,12	0,12	0,66	0,78
5	СЧ35 – 09Г2С / SCH35 – 09G2S	0,13...0,14	0,45	0,35	0,80
6	ЧМН-35М – 09Г2С / CHMN-35M – 09G2S	0,11...0,12	0,13	0,56	0,69

2. Анализ результатов фрактографических исследований динамически разрушенных образцов свидетельствует о том, что механизмы разрушения серого чугуна СЧ35 и разработанного легированного износостойкого чугуна ЧМН-35М имеют одинаковый характер как в зонах зарождения, так и в зонах распространения трещин. Разрушение образцов происходит по хрупкому типу с явным преобладанием межзеренного механизма. Поверхности разрушения образцов из ЧМН-35М более однородные, размер фасеток скола составляет от 20 до 60 мкм, что примерно в 1,5 раза мельче, чем у чугуна СЧ35.

3. Результаты триботехнических испытаний свидетельствуют о высокой износостойкости разработанных материалов. В условиях сухого трения скольжения износостойкость разработанного сплава по сравнению с образцами из стандартного чугуна СЧ35 выше примерно на 50 %.

Список литературы

1. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
2. Чигарев В.В., Рассохин Д.А., Лоза А.В. Изменение структуры и свойств литого металла легированием в отливках из чугуна и стали // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2010. – Вип. 21. – С. 61–66.

3. Габец Д.А., Марков А.М., Габец А.В. Исследование влияния химического состава и структуры на механические свойства чугуна ЧМН-35М // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 4. – С. 100–106.

4. Making spheroidal graphite cast iron by the LS-process / A.I. Belyakov, L.A. Petrov, V.V. Kaminskij, T.A. Akhunov, V.P. Ershov // Литейное производство. – 1997. – № 5. – С. 20–21.

5. Патент 2562554 Российская Федерация. Чугун / А.В. Габец, Д.А. Габец. – № 2014118635; заявл. 08.05.2014; опубл. 12.08.2015, Бюл. № 25. – 5 с.

6. Корниенко Э.Н., Бикулов Р.А. Тяжелая легатура для получения высокопрочного чугуна // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 2. – С. 3–5.

7. Управление износостойкостью ответственных узлов и деталей подвижного состава: монография / А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец, Е.О. Чертовских. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 213 с. – ISBN 978-5-7568-1188-9.

8. Влияние модифицирования на структуру и свойства чугуна и стали для прокатных валков / В.А. Корвин, И.О. Леушин, Р.Н. Палавин, А.С. Киров // Литейщик России. – 2011. – № 12. – С. 15–17.

9. Семенов В.И., Чайкин А.В. Фазовые и структурные изменения в чугуне после модифицирования // Металлургия машиностроения. – 2006. – № 5. – С. 14–18.

10. Комаров О.С., Розенберг Е.В., Урбанович Н.И. Особенности модифицирования различных типов же-

лезоуглеродистых сплавов // Литье и металлургия. – 2015. – № 2 (79). – С. 24–28.

11. Габеев Д.А., Марков А.М., Габеев А.В. Специальный модифицированный чугун марки ЧМН-35М для тяжело нагруженных деталей тележки грузового вагона // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 1–2. – С. 23–26.

12. Boulifaa M.I., Hadji A. Effect of alloying elements on the mechanical behavior and wear of austempered ductile iron // Mechanics and Industry. – 2015. – Vol. 16, iss. 3. – P. 304. – doi: 10.1051/meca/2015002.

13. Ларин Т.В., Асташкевич Б.М., Транковская Г.Р. Влияние ванадия, меди, алюминия на износостойкость и фрикционные свойства фосфористого чугуна для тормозных колодок // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. – № 8. – С. 40–42.

14. Vijeesh V., Prabhu K.N. Review of microstructure evolution in hypereutectic AL-SI alloys and its effect on wear properties // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2014. – Vol. 67, iss. 1. – P. 1–18. – doi: 10.1007/s12666-013-0327-x.

15. Effect of fluctuation and modification on microstructure and impact toughness of 20 WT.% CR hypereutectic white cast iron / X. Zhi, J. Xing, H. Fu, Y. Gao // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. – 2008. – Vol. 39, iss. 6. – P. 391–393. – doi: 10.1002/mawe.200700219.

16. Габеев А.В., Марков А.М., Габеев Д.А. Моделирование эксплуатационных свойств деталей, изготовленных из специального чугуна ЧМН-35М // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 36–44.

17. Гурей Т.А. Повышение износостойкости чугунных деталей поверхностным упрочнением // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2016. – № 74. – С. 48–52. – Яз. укр.

18. Xu T., Hu C., Xie D. Effect of re modification and heat treatment on formation and growth of thermal fatigue crack in wear resistant cast iron containing low alloy // Journal of Rare Earths. – 2003. – Vol. 21, Suppl. – P. 202–205.

19. Повышение износостойкости фрикционных деталей из серого чугуна / Б.В. Борщ, А.В. Габеев, А.В. Сухов, Г.А. Филиппов // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 66–68.

Конфликт интересов

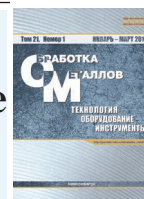
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Study of the Influence of Alloying Elements on the Structure and Properties of Gray Cast Iron Operating under Conditions of Shock-Friction Wear

Denis Gabets^a, Andrei Markov^b

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0003-0304-4407>, gabets22@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>, andmarkov@inbox.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 15 March 2018

Revised: 28 November 2018

Accepted: 10 December 2018

Available online: 15 March 2019

Keywords:

Alloying and modification of cast iron

Shock-frictional wear

Wear resistance

Martensite

Alloying with nickel

Alloying with molybdenum

Wear resistant cast iron

Graphite

ABSTRACT

Introduction. The solution on improving the speed and volume of cargo transportation by railway transport is connected with increased requirements to critical parts of the rolling stock. One of such details is a side bearing cap. The cap is installed on the support in the truck bolster and designed to hold a car body of the lateral forces. **Method.** The previous studies have shown that gray cast iron, in particular, SCH35 grade, is an effective material with satisfactory performance properties under high loads. Gray cast iron contains graphite which in the frictional couples can serve as cutting oil. However, these properties are not always sufficient for the buffing loading conditions, subjected to the slid bearing cap. **Results and Discussion.** Achieved results and the patent search allowed declaring the resulting iron as an invention (patent number 2562554). In the course of the investigation, it is possible to establish the influence of the concentration of alloying elements of nickel and molybdenum on the mechanical properties of the developed cast iron. The quality of the new iron and its characteristics are assessed within laboratory and stand tests. Polished sections analysis of non-etching samples allowed identifying graphitic phase. Study of metal matrix has shown that metal backing of the cast iron has perlite alongside with acicular perlite. Besides, this iron CHMN-35M metal matrix has perlite-ferritic metal backing. As reflected by the results, in all combinations iron of CHMN-35M grade has shown the best (approximately in 1.5 times) wear resistance in comparison with SCH35 iron. Therefore, the total value of accumulative wear (hob and shaft wear) in couples with CHMN-35M iron is also lower.

For citation: Gabets D.A., Markov A.M. Study of the influence of alloying elements on the structure and properties of gray cast iron operating under conditions of shock-friction wear. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 70–81. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-70-81. (In Russian).

References

1. Girshovich N.G. *Kristallizatsiya i svoystva chuguna v otlivkakh* [Crystallization and properties of iron in casts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966. 562 p.
2. Chigarev V.V., Rassokhin D.A., Loza A.V. *Izmenenie struktury i svoystv litogo metalla legirovaniem v otlivkakh iz chuguna i stali* [Modification of the structure and properties of cast metal by means of alloying in castings, made of iron and steel]. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki = Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Technical sciences*, 2010, iss. 21, pp. 61–66.
3. Gabets D.A., Markov A.M., Gabets A.V. *Issledovanie vliyaniya khimicheskogo sostava i struktury na mekhanicheskie svoystva chuguna ChMN-35M* [Investigation of chemical composition and material structure influence on mechanical properties of special cast iron]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii = Actual problems in machine building*, 2017, vol. 4, no. 4, pp. 100–106.
4. Belyakov A.I., Petrov L.A., Kaminskij V.V., Akhunov T.A., Ershov V.P. Making spheroidal graphite cast iron by the LS-process. *Liteinoe proizvodstvo = Foundry. Technologies and Equipment*, 1997, no. 5, pp. 20–21.

* Corresponding author

Gabets Denis A., Research Engineer,
I.I. Polzunov Altai State Technical University,
46 Lenina avenue,
Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation
Tel.: 89635332000, e-mail: gabets22@mail.ru

5. Gabets A.V., Gabets D.A. *Chugun* [Cast iron]. Patent RF, no. 2562554, 2015.
6. Kornienko E.N., Bikulov R.A. Tyazhelaya ligatura dlya polucheniya vysokoprochnogo chugun [Heavy alloy for obtaining spheroidal graphite iron]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* = *Blanking productions in mechanical engineering*, 2009, no. 2, pp. 3–5.
7. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A., Chertovskikh E.O. *Upravlenie iznosostoikost'yu otvetstvennykh uzlov i detalei podvizhnogo sostava* [Wear-resistance properties control of units and details of the rolling stock]. Barnaul, Polzunov Altai State Technical University Publ., 2016. 213 p. ISBN 978-5-7568-1188-9.
8. Korovin V.A., Leushin I.O., Palavin R.N., Kirov A.S. Vliyanie modifitsirovaniya na strukturu i svoystva chuguna i stali dlya prokatnykh valkov [Influence of modification to structure and properties of iron and steel for cast rolls]. *Liteishchik Rossii* = *Foundrymen of Russia*, 2011, no. 12, pp. 15–17.
9. Semenov V.I., Chaikin A.V. Fazovye i strukturnye izmeneniya v chugune posle modifitsirovaniya [Phase and structural changes in cast iron upon inoculation]. *Metallurgiya mashinostroeniya* = *Metallurgy of Machinery Building*, 2006, no. 5, pp. 14–18.
10. Komarov O.S., Rozenberg E.V., Urbanovich N.I. Osobennosti modifitsirovaniya razlichnykh tipov zhelezouglerodistykh splavov [Features modifying various types of iron-carbon alloys]. *Lit'e i metallurgiya* = *Foundry Production and Metallurgy*, 2015, no. 2 (79), pp. 24–28.
11. Gabets D.A., Markov A.M., Gabets A.V. Spetsial'nyi modifitsirovannyi chugun marki ChMN-35M dlya tyazhelo nagruzhennykh detalei telezhki gruzovogo vagona [Special modified pig iron brand CHMN-35M for heavily-loaded parts of freight-car truck]. *Tyazheloe mashinostroenie* = *Russian Journal of Heavy Machinery*, 2016, no. 1–2, pp. 23–26.
12. Boulifaa M.I., Hadji A. Effect of alloying elements on the mechanical behavior and wear of austempered ductile iron. *Mechanics and Industry*, 2015, vol. 16, iss. 3, p. 304. doi: 10.1051/meca/2015002.
13. Larin T.V., Astashkevich B.M., Trankovskaya G.R. Vliyanie vanadiya, medi, alyuminiya na iznosostoikost' i friktsionnye svoystva fosforistogo chuguna dlya tormoznykh kolodok [Influence of vanadium, cuprum, aluminum to wear-resistance and fractional properties of phosphoric iron for clasp blocks]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* = *Vestnik of the Railway Research Institute*, 1986, no. 8, pp. 40–42.
14. Vijeesh V., Prabhu K.N. Review of microstructure evolution in hypereutectic AL-SI alloys and its effect on wear properties. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 2014, vol. 67, iss. 1, pp. 1–18. doi: 10.1007/s12666-013-0327-x.
15. Zhi X., Xing J., Fu H., Gao Y. Effect of fluctuation and modification on microstructure and impact toughness of 20 WT.% CR hypereutectic white cast iron. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2008, vol. 39, iss. 6, pp. 391–393. doi: 10.1002/mawe.200700219.
16. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A. Modelirovanie ekspluatatsionnykh svoystv detalei izgotovlennykh iz spetsial'nogo chuguna ChMN-35M [Modeling of working properties of details comprised of special iron ChMN-35M]. *Polzunovskii vestnik* = *Polzunov Bulletin*, 2016, no. 2, pp. 36–44.
17. Hurey T. Increase of wear resistance of cast iron parts by surface hardening. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* = *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2016, no. 74, pp. 48–52. (In Ukrainian).
18. Xu T., Hu C., Xie D. Effect of re modification and heat treatment on formation and growth of thermal fatigue crack in wear resistant cast iron containing low alloy. *Journal of Rare Earths*, 2003, vol. 21, Suppl., pp. 202–205.
19. Borshch B.V., Gabets A.V., Sukhov A.V., Filippov G.A. Povyshenie iznosostoikosti friktsionnykh detalei iz serogo chuguna [Increasing the wear resistance of friction grey cast iron components]. *Stal'* = *Steel in Translation*, 2014, no. 1, pp. 66–68. (In Russian).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2019 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).