

<sup>1</sup>Д. Р. Аубакиров\*, <sup>1</sup>А. З. Исагулов, <sup>1</sup>В. Ю. Куликов,  
<sup>1</sup>Р. Б. Султангазиев, <sup>2</sup>Б. Ж. Толукпаев

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганды, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, Караганды, Казахстан

\*e-mail: [dastan\\_kstu@mail.ru](mailto:dastan_kstu@mail.ru)

## ВЫБОР ЛИТЕЙНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ, СОЧЕТАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УДАРНОЙ И АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ

**Аннотация.** В данном исследовании приведены результаты работ по выбору наиболее технологически и экономически эффективных составов износостойких Fe-C-сплавов для деталей промышленного оборудования и технологий их производства. Рассмотрены основные виды существующих износостойких сталей и чугунов, показаны их составы и свойства, описаны основные преимущества и недостатки. С точки зрения экономической выгоды и простоты технологии, одним из наиболее эффективных для отливки деталей, подвергающихся интенсивным ударным и истирающим воздействиям, является половинчатый чугун с шаровидным графитом, полученный в результате низкого легирования хромом и последующего модифицирования магнийсодержащей добавкой. Основным преимуществом данного сплава, определяющим высокую его износостойкость, является то, что в данном случае, в структуре внешнего приповерхностного слоя отливки углерод находится в виде легированных хромом и марганцем мелкодисперсных карбидных включений, что обеспечивает высокую твердость и сопротивление абразивному износу, а во внутренних глубинных слоях отливки углерод находится в виде шаровидного и вермикулярного графита – это обеспечивает повышенную ударную вязкость сплава.

**Ключевые слова:** высокопрочный чугун, шаровидный графит, износостойкость, ударопрочность, сталь, сплав, литьё, отливка, легирование, модифицирование, внепечная обработка, модификатор, лигатура, магний.

Проведенный мониторинг потребности деталей, изготавливаемых из износостойких сплавов и применяемых в металлургическом секторе Республики Казахстан, выявил наиболее востребованные и требующие замены не менее 2 раз в год наименования литых изделий (таблица 1) [1].

Таблица 1. Наиболее востребованные детали металлургического сектора, производимые из износостойких материалов

№ п/п	Наименование детали	Потребность, не менее тыс.т. в год	Материал
1	Мелющие шары разного диаметра	100	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
2	Черпак питателя барабанной мельницы	30	легированная сталь
3	Футеровка разгрузочной крышки барабанной мельницы	50	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
4	Била молотковых дробилок	80	легированная сталь
5	Колеса грунтовых насосов типа ГРАТ, ГР	60	легированная сталь
6	Диски грунтовых насосов типа ГРАТ, ГР	40	легированная сталь, чугун типа ИЧХ
7	Зубья экскаваторных ковшей	35	легированная сталь

Как видно из данных таблицы 1, основными материалами, применяемыми для изготовления перечисленных деталей, являются легированные стали (типа 110Г13Л, 50ГС и др.) и износостойкие хромистые чугуны. Большая часть готовой продукции данного сегмента импортируется в нашу страну из России и Китая.

Таким образом, остро стоит задача создания и применения собственных разработок в области производства новых износостойких сплавов для изготовления перечисленных деталей, причем эти материалы должны быть сопоставимы по свойствам с зарубежными аналогами, иметь казахстанское содержание, что позволит снизить их себестоимость и сделать конкурентоспособными на рынке.

Изучение существующих составов современных износостойких железоуглеродистых сплавов, ознакомление с их эксплуатационными свойствами и способами изготовления отливок из них позволяют сделать следующие выводы:

1) в целях оптимизации расходов, производство изделий из высококачественного износостойкого сплава литьём, при условии получения требуемых рабочих свойств непосредственно в литом состоянии, является более предпочтительным. Это существенно расширит возможности его использования для производства наиболее востребованных деталей технологического оборудования, имеющих самые разнообразные геометрические формы, размеры, конфигурацию и достаточно высокую точность, что затруднено, а зачастую и невозможно при изготовлении из проката. Кроме того, литейная технология позволяет более гибко вносить корректировки и работать со сплавом, путём изменения структуры, химического состава и скорости охлаждения отливки;

2) технология стального литья является более сложной и дорогостоящей по сравнению с технологией производства отливок из чугуна, что связано, в первую очередь, с довольно низкими литейными свойствами сталей, которые, чаще всего, обуславливают повышенную усадку и связанную с этим склонность к образованию на различных этапах множества как явных, так и скрытых дефектов. Напротив, более высокая технологичность чугунов позволяет избежать, в большинстве случаев, множества дополнительных расходов, неизбежных при производстве отливок из стали, таких как: технологические припуски и напуски, увеличение сечения литников, усиленные меры по обеспечению направленной кристаллизации (прибыли, бобышки, холодильники), проведение обязательной термовременной обработки и т.д.;

3) изучение технологий производства деталей из наиболее распространённых типов износостойких сталей и исследование их свойств показывает, что:

– изделия из подшипниковых сталей изготавливаются, в большинстве случаев, методами интенсивной пластической деформации и достигают необходимых эксплуатационных свойств только после проведения термической обработки, в литом состоянии использование деталей из данных марок технически и экономически нецелесообразно;

– несмотря на достаточно высокие антифрикционные свойства изделий из графитизированных сталей и их высокую стойкость к абразивному износу, использование сталей данного типа для производства отливок, работающих в условиях длительных динамических ударных нагрузок является нерациональным ввиду их достаточно низких механических свойств;

– износостойкие свойства высоколегированных марганцовистых сталей в наибольшей степени проявляются только при условии предварительного ударного упрочнения, когда изделия подвергаются абразивному воздействию без наклёпа, их преимущества в износостойких свойствах не столь очевидны. Также изделия из высоколегированных литейных сталей нуждаются в обязательной термической обработке, что значительно повышает их себестоимость [2-3];

– зарубежные марки сталей типа Hardox<sup>®</sup> изготавливаются, в основном, в виде листового проката и имеют немалую стоимость (в зависимости от марки ≈ 1050 – 3800\$/тн),

что, несмотря на достаточно высокие служебные свойства, накладывает определённые ограничения на область их использования;

4) изучение рабочих свойств и обзор технологий литья из различных групп износостойких чугунов и показывают, что:

– серым износостойким чугунам с мартенситной или игольчатой структурой, несмотря на их относительно невысокую стоимость и хорошую обрабатываемость резанием, характерна чувствительность прочности и износостойкости от массы и толщины сечения отливки, а их сравнительно невысокие эксплуатационные свойства не позволяют применять их для деталей, работающих в тяжёлых условиях;

–к основным недостаткам отбелённых чугунов, помимо их плохой обрабатываемости, относится значительное снижение износостойкости металла по сечению отливки от поверхности к сердцевине, что ограничивает их использование в качестве материала для производства мелющих тел;

– легированные высокохромистые белые чугуны (содержащие более 10% Cr) с карбидами типа  $Me_{23}C_6$  и  $Me_7C_3$ , хотя и обладают наиболее высокими показателями по твёрдости и износостойкости, однако имеют высокую линейную усадку при затвердевании (в пределах 1,8-2,1%), что также повышает склонность к образованию литейных дефектов в виде раковин и трещин. Также чугуны данной группы нуждаются в обязательной достаточно сложной и дорогостоящей термической обработке, что также накладывает некоторые ограничения в их эксплуатации с экономической точки зрения;

– значительно снизить общую степень легирования сплава при сохранении относительно высокой твёрдости, за счёт образования в них карбидов MC наряду с карбидами типа  $Me_7C_3$ , позволяет комплексное легирование белых чугунов Cr, Ti, Nb, Mo и V с последующим модифицированием;

–зарубежные марки чугунов типа «Нихард» обладают невысокой стойкостью к значительным ударным нагрузкам, что является их основным существенным недостатком, а также, наряду с их невысокими литейными свойствами, чувствительностью к термическим напряжениям и склонностью к образованию холодных и горячих трещин, в литом состоянии отличаются низкой технологичностью. Достижение необходимых эксплуатационных свойств сплавов данного типа возможно только при условии двойной или тройной термообработки (отжиг, закалка, нормализация, отпуск) [4-5];

5) высокопрочный чугун с шаровидным графитом, обладая комплексом высоких физико-механических свойств, позволяет достичь наивысших показателей долговечности и стойкости деталей и конструкций по сравнению с другими более дорогими сплавами, а в ряде случаев его применение является безальтернативным как, например, при производстве строительных забивных свай [6].

С точки зрения оптимального сочетания ударной и абразивной стойкости деталей из чугуна, представляют несомненный интерес частично графитизированные чугуны, имеющие в структуре, как графит шаровидной формы, так и структурно-свободный цементит. При этом, если наличие цементита обеспечивает повышенную износостойкость при истирании, то ШГ в структуре такого чугуна оказывает смазывающее действие, смягчая разрушительное внешнее воздействие на элементы структуры [6-8].

Химический состав и механические свойства традиционных ЧШГ в странах СНГ регламентируется ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки».

Зарубежом состав и свойства высокопрочных чугунов нормируются международными стандартами ISO 400-18S / 800-2, европейскими – EN 1563 «Founding. Spheroidal graphite cast irons» и EN 1564 «Founding. Austempered ductile cast irons», рядом иностранных стандартов - WNr 0.7040-0.7080 и DIN GGG40-80 (Германия), SAE J434 «Automotive Ductile (Nodular) Iron Castings», ASTM A536 «Standard for Ductile Iron Castings» (таблицы 2, 3) и ASTM A897 / A897M – 16 «Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings» (таблица 4) (США), JIS FCD400 - FCD800 (Япония), AFNOR FGS-400-12 / FGS800-2 (Франция), BS 420/12-800/2

• Химико-металлургические науки

(Великобритания), UNI GS 400-12/800-2 (Италия), GB QT 400-15 (Китай), IS SG800/2 (Индия), SS 0717-02/0864-03 (Швеция) и др. [9-10].

Таблица 2. Химический состав высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по американскому стандарту ASTM A536–84(2019)e1 [9-10]

Марка	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mg
Grade 60-40-18	3,4-3,8	2,0-2,5	≤0,3	≤0,02 5	≤0,00 8	≤ 0,08	≤0,5	≤0,2	0,025- 0,055
Grade 65-45-12		2,35-	≤0,4					≤0,4	
Grade 80-55-06		2,75						≤0,6	
Grade 100-70-03		2,25-3,0	0,15-0,35						

Из указанных в таблице 2 марок высокопрочных чугунов только изделия из Grade 65-45-12 и 80-55-06 используются непосредственно в литом состоянии, а изделия из остальных марок используют после соответствующих видов термической обработки: для Grade 80-55-06 – отжиг, для Grade 100-70-03 – нор мализация, для Grade 120-90-02 – закалка и отпуск [11].

Таблица 3. Механические свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по стандартам США ASTM A536–84(2019)e1 и SAE J434 [9-10]

Американские спецификации	Марка чугуна	Прочность при растяжении, psi	Предел текучести, psi	Удлинение, %	Твердость, НВ
ASTM A536	60-40-18	60 000	40 000	18	143 ≅ 187
SAE J434	D4018	60 000	40 000	18	170 max
ASTM A536	65-45-12	65 000	45 000	12	156 ≅ 217
SAE J434	D4512	65 000	45 000	12	156 ≅ 217
ASTM A536	80-55-06	80 000	55 000	6	187 ≅ 255
SAE J434	D5506	80 000	55 000	6	187 ≅ 255
ASTM A536	100-70-03	100 000	70 000	3	241 ≅ 302
SAE J434	D7003	100 000	70 000	3	241 ≅ 302
ASTM A536	120-90-02	120 000	90 000	2	255 ≅ 302

Таблица 4. Механические свойства аустенитных высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, для изделий работающих под давлением, по стандарту ASTM A897 (США) [9-10]

Марка чугуна ASTM A897	Прочность при растяжении, psi	Предел текучести, psi	Удлинение, %	Ударная вязкость, ft-lb
Grade 1	125 000	80 000	10	75
Grade 2	150 000	100 000	7	60
Grade 3	175 000	125 000	4	45
Grade 4	200 000	155 000	1	25
Grade 5	250 000	185 000		

Аустенитные высокопрочные чугуны, приведённые в таблице 4, легируются никелем, и, кроме высоких прочностных свойств, характеризуются также и повышенной износостойкостью и коррозионной устойчивостью [9-10].

Наличие пластинчатого или вермикулярного графита в структуре хромоникелевых чугунов, при воздействии ударных нагрузок, способствует появлению трещин в отливках

[11-12], тогда как модифицирование сфероидизирующими лигатурами за счёт получения в структуре чугуна графита правильной шаровидной формы, позволяет значительно улучшить их прочность и ударостойкость. Шаровидная форма графита в меньшей степени ослабляет рабочее сечение матрицы и не оказывает сильного надрезающего действия, способствующего к созданию высоких концентраций напряжений вокруг сфероидов графита [13-16]. Также в работе [17] показано благоприятное влияние наличия включений ШГ в металлической основе ХНЧ на инверсию карбидной фазы, а значит и повышению износостойких свойств сплава.

Повышение стойкости хромоникелевых чугунов к ударам возможно путём их внепечной обработки такими поверхностно-активными элементами, как Ti, B, V и Mg, Ce, Te-содержащими лигатурами (МЦ-40, МЦ-65, МЦ-75, ФЦМ-5, МЦМ5, Ni-Mg, ДМК-7, Ni-Mg-Ce) [13-15, 18-20].

В качестве глобуляризирующих модификаторов в производстве ЧШГ используются в чистом виде или в виде лигатур и смесей такие элементы, как Mg, Ce, Ca, Li, Zn, Ba, K, Na, Th, однако наиболее распространённым из них, в силу относительной дешевизны и недефицитности, всё же является магний [15, 20]. Такие элементы, как Cr, Sb, Bi, S, Se, Te являются антиграфитизаторами, их поверхностно-активные свойства вызывают охлаждение чугуна [21].

Так в ряде зарубежных стран давно используются никельмагниевого лигатуры Incomag-alloy производства International Nickel Company (США), кремниймагниевого лигатуры Remag (США), сплавы Si-Mg-РЗМ фирмы Foote Ferroalloys (США), а также кремнемагнийкальциевые лигатуры ЖКМК-1÷6 и РЗМ-Mg (Россия), комплексные модификаторы КМ-1÷8 (Украина), модификаторы КСи ОZ (Япония) и многие другие. В данных модификаторах, помимо основных легирующих, графитизирующих, рафинирующих и раскисляющих компонентов Mg, Ni, Ca, Si, Ce, Al и Fe также могут содержаться РЗМ, которые позволяют уменьшить пироэффект и дымовыделение за счёт существенного подавления упругости образующихся паров, повысить плотность чугуна и снизить склонность к отбелу, тем самым повышая эффект модифицирования [20].

Расход магниевой присадки при модифицировании зависит от применяемой технологии введения, исходного содержания S, сечения отливки и составляет около 0,1-0,4% массы жидкого чугуна в ковше. Считается, что остаточная концентрация Mg в чугуне, наиболее эффективная для образования ШГ, находится в пределах 0,04% [15, 22]:

$$\sum \text{Mg} = [0,04 + 0,76 (S_{\text{исх}} - 0,02)] \frac{1}{n},$$

где  $S_{\text{исх}}$  – содержание серы в чугуне, %;

0,76 – соотношение атомных масс Mg и S;

n – коэффициент усвоения магния, обычно от 0,1 до 0,5 (зависит от способа модифицирования, начального содержания Mg в лигатуре и температуры чугуна).

Таблица 5. Химический состав высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85 [13, 15, 20]

Марка	Содержание элементов*, %						Структура металлической основы
	C	Si	Mn	Cr	S	P	
ВЧ 38-17	3,4-3,8	2,1-2,8	0,4	≤ 0,05	≤ 0,002	≤ 0,1	ферритная
ВЧ 42-12		2,1-2,7		≤ 0,1	≤ 0,02		
ВЧ 45-5							
ВЧ 50-2	3,2-3,6	1,9-2,2	0,5-0,8				перлитно-ферритная
ВЧ 60-2		1,9-2,2					

• Химико-металлургические науки

ВЧ 70-2		2,6-2,9	0,6-0,9			бейнитная
ВЧ 80-2		2,6-2,8		$\leq$ 0,002		
ВЧ 100-2		3,4-3,8		$\leq$ 0,02		
ВЧ 120-2						

\* Содержание химических элементов после модифицирования.

Усвоение магния из лигатуры и степень сфероидизации графита, помимо базового содержания Mg в присадке, также во многом зависит от способа модифицирования, температуры заливки металла (считается, что полная сфероидизация графита происходит при 1420-1480°C), времени его перемешивания и выдержки (обычно от 20 до 120 секунд).

Основное влияние на свойства ЧШГ оказывают Si, Mn и P, в то время как С не оказывает заметного влияния на мех. свойства чугуна (пределы его содержания 3,2-3,8% обуславливаются необходимой жидкотекучестью для качественной заливки).

Физико-механические и эксплуатационные свойства ЧШГ зависят, в основном, от химического состава металла, а на структуру его металлической основы и уровень механических свойств, помимо химического состава, оказывают значительное влияние скорость кристаллизации и режим применяемой термообработки.

Испытания механических свойств ВЧШГ проводятся: на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение», на ударную вязкость согласно ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах», на твёрдость по ГОСТ 27208-87 «Отливки из чугуна. Методы механических испытаний».

Таблица 6. Термическая обработка и механические свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85 [13, 15, 20]

Марка чугуна	Механические свойства					Вид применяемой термообработки
	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta, \%$	КС, кДж / м <sup>2</sup>	Твёрдость НВ	
	МПа					
ВЧ 38-17	380	235	17	58,8	140-170	Отжиг
ВЧ 42-12	420	275	12	39,2	140-200	
ВЧ 45-5	450	324	5	29,4	160-220	
ВЧ 50-2	500	372	2	19,6	180-260	
ВЧ 60-2	600	392		29,4	200-280	Нормализация
ВЧ 70-2	700			19,6	229-275	
ВЧ 80-2	800	490		29,4	220-300	Двойная нормализация
ВЧ 100-2	1000	686		29,4	302-369	Изотермическая закалка и отпуск
ВЧ 120-2	1200	882	302-360			

Таким образом, с точки зрения оптимального сочетания ударной и абразивной стойкости деталей из чугуна, без значительного удорожания, наиболее привлекательны частично графитизированные чугуны, имеющие в структуре, как графит шаровидной формы, так и структурно-свободный цементит, что достигается внепечной обработкой сплава магнийсодержащими модификаторами. При этом, достаточно невысокое остаточное содержание Mg в чугуне (в пределах 0,04%), требуемое для образования ШГ, также свидетельствует об экономичности процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куликов В. Ю., Аубакиров Д. Р., Квон Св. С., Достаева А. М., Щербакова Е. П. Применение износостойких материалов в металлургической отрасли Республики Казахстан // Научно-технический и производственный журнал «Металлург», – 2018, – №10, – С. 80-83.
- [2] Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Том 3. Специальные стали и сплавы. Под редакцией Ф. Ф. Химушина.– М.: Изд-во Машиностроение, 1968 –446 с.
- [3] Гольдштейн М.Н., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. /М.: Изд-во Metallurgiya, 1989 – 408 с.
- [4] Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Том 4. Чугун. Под редакцией И. В. Кудрявцева.– М.: Изд-во Машиностроение, 1969–248 с.
- [5] Чугун. Справочник /под редакцией А. Д. Шермана и А. А. Жукова – М.: Изд-во Metallurgiya, 1991 –576 с.
- [6] Н. И. Бех, Н. Н. Александров, Ф. А. Нуралиев. Высокопрочный чугун сейчас и в будущем// «Литейное производство», –2018.– № 5.–С. 2-5.
- [7] Справочник по чугунному литью/под редакцией Н. Г. Гиршовича.– Л.: Изд-во Машиностроение, 1978 –758 с.
- [8] Марукович Е. И., Карпенко М. И. Износостойкие сплавы.– М.: Изд-во Машиностроение, 2005 –428 с.
- [9] А. П. Цвияк. Краткий справочник машиностроителя международного. СПб.: Питер, 2011. – 384 с.
- [10] Классификация и характеристика чугунов в США. Ресурс – <http://www.detalmach.ru/spravka356.html>
- [11] An Introduction to Ductile Iron. Ресурс – <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=797>
- [12] Н. С. Гуцин. Исследование и разработка технологии изготовления отливок из износостойкого чугуна с шаровидным графитом: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2000.–19 с.
- [13] Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев, Наук. думка, 1986 –248 с.
- [14] Л. А. Шевчук. Структура и свойства чугуна. Минск, Изд-во Наука и техника, 1978 –216 с.
- [15] К. И. Ващенко, Л. Софрони. Магнийевый чугун. Киев, М.: Изд-во Машгиз, 1960 –487 с.
- [16] А. А. Тахиров, Н. С. Гуцин. Хромоникелевый чугун с шаровидным графитом // «Литейное производство», – 2012.– № 12.–С. 2-4.
- [17] Н. С. Гуцин, В. В. Андреев, А. А. Тахиров, Ф. А. Нуралиев. Механизм влияния кремния и шаровидного графита на абразивную износостойкость хромоникелевого чугуна // «Литейное производство», – 2018.– № 6.–С. 2-5.
- [18] Н. С. Гуцин, Ф. А. Нуралиев, А. А. Тахиров. Особенности получения мелкодисперсной металлической основы хромоникелевого чугуна // «Литейное производство», – 2018.– № 6.–С. 2-5.
- [19] Е. И. Марукович, А. М. Брановицкий, Ю. А. Лебединский, Ю. В. Саченко, В. А. Харьков. Исследование литья в кокиль цильпесов // «Литьё и металлургия», – 2016.– № 1 (82).–С. 27-33.
- [20] В. С. Шумихин, В. П. Кутузов, А. И. Храменков и др. / под редакцией Н. Н. Александрова. Высококачественные чугуны для отливок. М.: Изд-во Машиностроение, 1982 –222 с.
- [21] S. V. Davidov, A. O. Gorlenko. A new type of antifriction and wear resistant malleable cast iron // «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», –2016. –Volume 124. – Pp. 1-5.
- [22] В. Л. Найдек, И. Г. Неижко, В. П. Гаврилюк. Шаровидный графит в чугунах // «Литейное производство», – 2018.– № 12.–С. 6-10.

### REFERENCES

- [1] Kulikov V. Yu., Aubakirov D. R., Kvon Sv. S., Dostaeva A. M., Shcherbakova E. P. Primenenie iznosostoikikh materialov v metallurgicheskoi otrasli Respubliki Kazakhstan // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal «Metallurg», – 2018, – №10, –S. 80-83.
- [2] Materialy v mashinostroenii. Vychor i primenenie. Tom 3. Spetsial'nye stali i splavy. Pod redaktsiei F. F. Khimushina.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1968 –446 s.
- [3] Gol'dshtein M.N., Grachev S.V., Veksler Yu.G. Spetsial'nye stali. /M.: Izd-vo Metallurgiya, 1989 – 408 s.
- [4] Materialy v mashinostroenii. Vychor i primenenie. Tom 4. Chugun. Pod redaktsiei I. V. Kudryavtseva.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1969–248 s.

- [5] Chugun. Spravochnik /pod redaktsiei A. D. Shermana i A. A. Zhukova – M.: Izd-vo Metallurgiya, 1991 –576 s.
- [6] N. I. Bekh, N. N. Aleksandrov, F. A. Nuraliev. Vysokoprochnyi chugun seichas i v budushchem// «Liteinoe proizvodstvo», –2018.– № 5.–S. 2-5.
- [7] Spravochnik po chugunnomu lit'yu/pod redaktsiei N. G. Girshovicha.– L.: Izd-vo Mashinostroenie, 1978 –758 s.
- [8] Marukovich E. I., Karpenko M. I. Iznosostoikie splavy.– M.: Izd-vo Mashinostroenie, 2005 –428 s.
- [9] A.P. Tsviyak. Kratkii spravochnik mashinostroytelya mezhdunarodnika. SPb.: Piter, 2011. – 384 s.
- [10] Klassifikatsiya i kharakteristika chugunov v SShA. Resurs – <http://www.detalmach.ru/spravka356.html>
- [11] An Introduction to Ductile Iron. Resurs – <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=797>
- [12] N. S. Gushchin. Issledovanie i razrabotka tekhnologii izgotovleniya otlivok iz iznosostoikogo chuguna s sharovidnym grafitom: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Moskva, 2000.–19 s.
- [13] Zakharchenko E. V., Levchenko Yu. N., Gorenko V. G., Varenik P. A. Otlivki iz chuguna s sharovidnym i vermikulyarnym grafitom. Kiev, Nauk. dumka, 1986 –248 s.
- [14] L. A. Shevchuk. Struktura i svoystva chuguna. Minsk, Izd-vo Nauka i tekhnika, 1978 –216 s.
- [15] K. I. Vashchenko, L. Sofroni. Magnievyi chugun. Kiev, M.: Izd-vo Mashgiz, 1960 –487 s.
- [16] A. A. Takhirov, N. S. Gushchin. Khromonikelevyi chugun s sharovidnym grafitom // «Liteinoe proizvodstvo», – 2012.– № 12.–S. 2-4.
- [17] N. S. Gushchin, V. V. Andreev, A. A. Takhirov, F. A. Nuraliev. Mekhanizm vliyaniya kremniya i sharovidnogo grafita na abrazivnyuyu iznosostoikost' khromonikelevogo chuguna // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 6.–S. 2-5.
- [18] N. S. Gushchin, F. A. Nuraliev, A. A. Takhirov. Osobennosti polucheniya melkodispersnoi metallicheskoj osnovy khromonikelevogo chuguna // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 6.–S. 2-5.
- [19] E. I. Marukovich, A. M. Branovitskii, Yu. A. Lebedinskii, Yu. V. Sachenko, V. A. Khar'kov. Issledovanie lit'ya v kokil' tsil'pebov // «Lit'e i metallurgiya», – 2016.– № 1 (82).–S. 27-33.
- [20] V. S. Shumikhin, V. P. Kutuzov, A. I. Khrumchenkov i dr. / pod redaktsiei N. N. Aleksandrova. Vysokokachestvennye chuguny dlya otlivok. M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1982 –222 s.
- [21] S. V. Davidov, A. O. Gorlenko. A new type of antifriction and wear resistant malleable cast iron // «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», –2016. –Volume 124. – Pp. 1-5.
- [22] V. L. Naidek, I. G. Neizhko, V. P. Gavrilyuk. Sharovidnyi grafit v chugunakh // «Liteinoe proizvodstvo», – 2018.– № 12.–S. 6-10.

<sup>1</sup>Д. Р. Аубакиров \*, <sup>1</sup>А. З. Исагулов, <sup>1</sup>В. Ю. Куликов,  
<sup>1</sup>Р. Б. Султангазиев, <sup>2</sup>Б. Ж. Толукпаев

<sup>1</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup>Қарағанды индустриалды университеті, Қарағанды, Қазақстан

\*e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

### **СОҚҚЫ ЖӘНЕ ТҮРШЛІК БЕРКТІКТІҢ ОПТИМАЛДЫ КӨРСЕТКІШТЕРІҢ ҮЙЛЕСТІРЕТІҢ ҚҰЮ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ҚОРЫТПАЛАРЫҢ ТАҢДАУ**

**Андатпа.** Бұл зерттеуде өнеркәсіптік жабдықтардың бөліктерің өндіру үшін тозуға төзімді Fe-C қорытпаларының технологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді құрамдары және оларды өндіру технологияларын таңдау бойынша жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Қолданыстағы тозуға төзімді болаттар мен шойындардың негізгі түрлері қарастырылып, олардың құрамдары мен қасиеттері көрсетілген, негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған. Экономикалық тиімділік пен технологияның қарапайымдылығы тұрғысынан қарқынды соққыға және үйкеліске ұшырайтын бөлшектерді құю үшін тиімділердің бірі - хроммен аз легирленіп одан кейін құрамында магний бар модифицирлеу нәтижесінде алынған жартыкеш шойын. Бұл қорытпаның оның жоғары тозуға төзімділігін анықтайтын басты артықшылығы - бұл жағдайда құйманың сыртқы беткі қабатының құрылымында көміртек хром және марганецпен легирленген ұсақ карбидті қосындылары түрінде болады, бұл құйманың абразивті тозуға төзімділігің жоғарылатады, ал құйманың ішкі терең қабаттарда көміртегі шартәріздес және вермикулярлы графит түрінде болады - бұл қорытпаның соққыға беріктігін арттырады.



**Негізгі сөздер:** жоғары берікті шойын, шар тәріздес графит, тозуға төзімділік, соққыға беріктік, болат, қорытпа, құю, құйма, легірлеу, модификациялау, пештен тыс өңдеу, модификатор, лигатура, магний.

<sup>1</sup>**D. R. Aubakirov\***, <sup>1</sup>**A. Z. Issagulov**, <sup>1</sup>**V. Yu. Kulikov**,  
<sup>1</sup>**R. B. Sultangaziyev**, <sup>2</sup>**B. Zh. Tolukpayev**  
<sup>1</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan  
<sup>2</sup>Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan  
\*e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

### **SELECTION OF CASTING WEAR-RESISTANT ALLOYS COMBINING OPTIMAL INDICATORS OF SHOCK AND ABRASIVE RESISTANCE**

**Abstract.** This study presents the results of the selection of the most technologically and cost-effective compositions of wear-resistant Fe-C alloys for parts of industrial equipment and their production technologies. The article also considers the main types of existing wear-resistant steels and cast irons, shows their compositions and properties, describes the main advantages and disadvantages. From the point of view of economic benefits and simplicity of technology, one of the most effective for casting parts subjected to intense impact and abrasion is half nodular cast iron obtained as a result of low alloying with chromium and subsequent modification with a magnesium-containing additive. The main advantage of this alloy, which determines its high wear resistance, is that in this case, in the structure of the outer surface layer of the casting, carbon is in the form of finely dispersed carbide inclusions doped with chromium and manganese, which ensures high hardness and resistance to abrasive wear, and in the inner deep layers Castings carbon is in the form of spheroidal and vermicular graphite - this provides an increased impact toughness of the alloy.

**Key words:** ductile iron, spherical graphite, wear resistance, strength, impact resistance, steel, alloy, casting, alloying, modifying, after-furnace processing, modifier, ligature, magnesium.