

## Хромистые чугуны и их самоупрочнение

Студент гр. 10404129 Кучмин. Я.С.  
Научный руководитель – Калининченко В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Для изготовления ряда быстроизнашивающихся деталей механического оборудования обычно применяют износостойкие чугуны, многие из которых, например, «нихард» (ЧХ9Н5), ИЧХ12М, ЧХ16М2, ЧХ28Н2, «Клаймэкс эллой – 42», комплексно легированный износостойкий чугун (КЛИЧ) марки ЧХ15Г2НМФТ и др., содержат в составе дорогостоящие и остродефицитные компоненты (Ni, Mo, V, W, Nb и др.). Для замены этих материалов экономнолегированными, не содержащими этих элементов, учеными ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» разработаны износостойкие чугуны на Fe-Cr-Mn и Fe-Mn основах, например, ЧХ(12-20)ГЗД, ЧХ15Г4Т, ЧГ(2-8)Ю, ЧГ6Ф и др. Главной их особенностью и неоспоримым преимуществом является метастабильность аустенитной составляющей структуры (первичного, эвтектического, остаточного), что обеспечивает эффект деформационного самоупрочнения в процессе эксплуатации благодаря развитию в рабочем поверхностном слое деталей наклепа, затем ДМПИ непосредственно под воздействием эксплуатационной абразивной среды (кокса, агломерата, известняка, дроби и пр.). Это превращение вызывает образование мартенсита деформации (аналогично тому, как образуется мартенсит при закалке), однако более дисперсного, твердого и износостойкого. Параллельно протекают процессы динамического деформационного старения мартенсита и аустенита (ДДС), обуславливающего дополнительное дисперсионное самоупрочнение выделяющимися высокодисперсными частицами карбидов и карбонитридов. Кроме того, эти ДФПИ сопровождаются перераспределением и поглощением энергии воздействующей эксплуатационной среды, в связи с чем, меньшая ее часть остается на разрушение поверхности деталей [1]. Все это в совокупности обеспечивает дополнительное и весьма существенное повышение износостойкости и долговечности деталей, изготовленных из этих чугунов. Разработанные износостойкие экономнолегированные чугуны получили промышленное использование: – ЧХ15Г4Т внедрены для отливки и обработки защитных плит разгрузочной части агломашин аглофабрики, тракта шихтоподачи в доменных цехах (защитные плиты перекидного лотка, скипов и др.), взамен чугуна КЛИЧ (ЧХ15Г2НМФТ) и стали Гадфильда (110Г13Л); – ЧХ14Г6Т – для отливки и обработки плит защитного листа желоба агломашин с ребристой рабочей поверхностью, чередование выступов и впадин, расположенных перпендикулярно движению агломерата, обеспечивает эффект самофутеруемости воздействующим на плиты агломератом. Преимущественно аустенитно-карбидная (литая) структура чугуна ЧХ15Г4Т постепенно трансформировалась в процессе эксплуатации в смесь  $\alpha'$ - фазы и карбидов  $(Cr,Fe)_7C_3$  и  $(Cr,Fe)_{23}C_6$  вследствие ДМПИ. При этом внутри бывших зерен первичного аустенита наблюдаются дисперсные выделения вторичных карбидов  $(Cr,Fe)_{23}C_6$ , преимущественно сферической формы на фоне  $\alpha'$ -фазы, что свидетельствует о развитии процессов ДДС, дестабилизации аустенита вследствие обеднения его углеродом и хромом и термо-деформационном превращении в  $\alpha'$ -фазу. В результате этого микротвердость бывших аустенитных зерен возросла с 3900-4000 МПа до 4500-4850 МПа в  $(\alpha' + (Cr, Fe)_{23}C_6)$  смеси, а расположенные темные области около первичных карбидов имели более высокую микротвердость 5300 МПа, что свидетельствует об образовании мартенсита вследствие ДМПИ. Этим объясняется повышенная износостойкость и долговечность плит. Для замены дефицитных дорогостоящих чугунов ЧХ20НМФ (Германия), ЧХ14НМФ, ЧХ21НФ и ИЧХ28Н2МФТ, применявшихся для изготовления лопастей дробеметов, разработаны чугуны ЧХ12Г4Д2 и ЧХ20ГЗД. Для бронифутеровочных плит дробеметных камер, испытывающих ударноабразивное воздействие с большей величиной ударной составляющей, чем лопасти,

разработан чугун ЧГ10Х4Ю с повышенным содержанием марганца и преимущественно аустенитной структурой металлической основы несколько большей степени стабильности. Сравнение свойств известных износостойких чугунов, с разработанными экономнолегированными сплавами показывает, что по ударно-абразивной износостойкости и ударной вязкости новые чугуны не уступают своим аналогам. При этом они значительно дешевле и доступнее, поскольку не содержат остродефицитных элементов. При замене применявшихся чугунов на разработанные ЧХ12Г4Д2 и ЧХ21Г7Д2 в условиях объединения «Красный котельщик» долговечность лопастей дробебетоуловозов возросла более чем в 30 раз по сравнению со стойкостью деталей из чугуна СЧ15 и в 1,5-2 раза – никельсодержащего чугуна ИЧХ28Н2МФТ и соответствовала долговечности покупных деталей импортного производства. Применение новых чугунов с метастабильной структурой, самоупрочняющихся при эксплуатации, позволяет экономить остродефицитные легирующие компоненты (никель, молибден, ванадий), снизить их стоимость в пределах 420-470 долл./т при одновременном повышении долговечности деталей в 1,5-2,5 раза, сократить ремонтно-эксплуатационные затраты, повысить производительность оборудования. В целях экономии никеля и замены дорогих жаростойких сталей типа 35Х23Н7СЛ, 40Х24Н12СЛ (содержат 7-13% Ni), применяющихся для деталей печной арматуры, в ГВУЗ «ПГТУ» разработаны безникелевые жаростойкие стали на Fe-Cr-Mn основе. Стали содержат 21-23,5% хрома, марганца, кремния при небольшом содержании ванадия 0,1-0,25%, никель исключен из состава. Для материалов (ЧХ28Н2, ЧХ24Т, 75Х28Н2СЛ) постепенно снижается на 6-8 HRC, в то время как в разработанном сплаве она повышается на 5-7 HRC. Последнее объясняется эффектом дестабилизации аустенита, постепенным образованием мартенсита закалки (на стадии охлаждения) и дисперсионным упрочнением. В результате износостойкость известных никельсодержащих материалов в процессе работы постепенно снижается, а разработанного сплава – напротив, повышается. По жаростойкости новый безникелевый сплав соответствует стали 75Х28Н2СЛ, поэтому является серьезной альтернативой дорогостоящим чугунам, сталям и эффективным их заменителем.

Таблица 1 – Марки сталей

Марка стали	$\sigma_B$ МПа	$\sigma_T$ МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV, МДж/м <sup>2</sup>	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
08Х18Г6СФ	990-1240	475-490	30-39	20-38	> 3,75	-
08Х22Г6СФ	700-990	485-510	40-46	50-67	2.5-3.5	-
20Х18Г9С2ДЛ	760-810	520-600	28-33	27-35	-	3,7
08Х22Н6Т	680	410	40	45	-	2,5
10Х18Н9Л	441	177	25	35	-	0,98

Таким образом, для композиционных покрытий был выплавлен сплав (образец № 1) износостойкого чугуна ЧХ16М2 по ГОСТ 7769-82 с прогнозируемыми свойствами (рисунок 1). Как видно, полученный материал обладает типичной для белых чугунов микроструктурой, а химический состав карбидообразующей фазы подтверждается рентгенограммой (рисунок 2).

После требуемой механической обработки (резка и токарная обработка) с целью создания основы для экспериментальных пластин и втулок данный материал был подвержен согласно ГОСТ 7769-82 закалке, с придания образцам максимальной твердости возможной для данного типа триботехнических материалов.

Следующим этапом, в соответствии с ГОСТ 7769-82, изготовленные и закаленные образцы № 3 были подвержены отпуску, с целью снятия в образцах термических напряжений и гомогенизации их механических свойств. Проведенная электронная микроскопия полученных структур и изменения в них отражены на рисунке 2.

Таблица 2 – Марки чугунов

Марка чугуна, изготовитель	Металлическая основа	Твердость НРС	Относит. износостойкость, Е	Ударная вязкость КС, Дж/см <sup>2</sup>
Известные чугуны				
ИЧХ28Н2МФ ОАО «Красный котельщик»	М-А	52	96	15
ЧХ16МНФТ (ОАО «Амурлитмаш»)	М	68.3	270	4,2
ЧХ21НФ (Камышинский кузнечнолитейный завод)	М	58	183	4,0
Разработанные экономнолегированные чугуны				
ЧХ20ГЗД	А-М	47	288	9,0
ЧГ10Х4Ю	А	49,5	185	13,0

Таблица 3 – Виды термической обработки отливок из легированного чугуна ЧХ16М2

Термообработка и ее назначение	Режим		
	Температура, К	Выдержка, ч.	Охлаждение
Отжиг и высокий отпуск для снижения твердости и улучшения обрабатываемости	963-1023	6-12	С печью
Нормализация для повышения твердости отливок (закалка)	1323-1373	1-2	На воздухе
Отпуск после отливки или нормализации для снятия внутренних напряжений	793-833	3-4	С печью

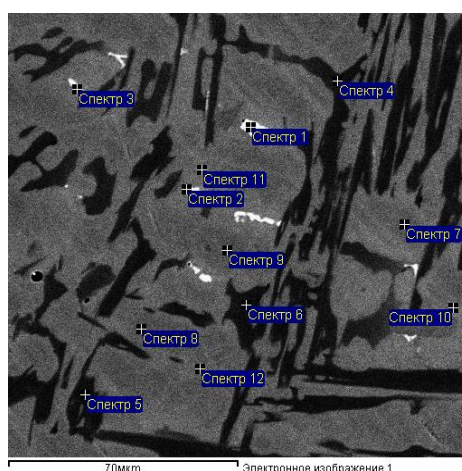


Рисунок 1 – Общий вид выплавленного износостойкого чугуна ЧХ16М2 (образец №1)

На всех этапах подготовки экспериментальных образцов, для оценки их свойств и прогнозируемости эффективности проводимых мероприятий, шла оценка их микротвердости по стандартной методике, используя микротвердомер ПМТ-3. Результаты измерений микротвердости образцов на всех этапах термической и механической обработок представлены в таблице 4.

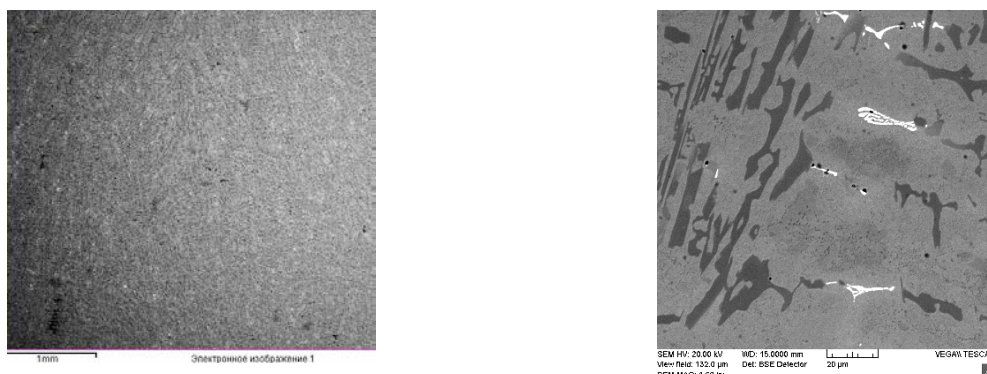


Рисунок 2 – Микроструктура образца из износостойкого чугуна ЧХ16М2 после отпуска (образец № 3)

Таблица 4 – Результаты измерений твердости образцов по методу Роквеллу

№ образца	HRC 1 изм.	HRC 2 изм.	HRC 3 изм.	Среднее значение HRC	Вид термообработки
1	48,0	48,0	47,5	47,8	Исходный
2	46,5	45,5	45,5	45,8	Отжиг
4	56,0	56,5	56,0	56,0	Закалка
3	55,5	54,5	55,0	55,0	Отпуск

**Заключение.** Как видно, свойства полученного материала вполне соответствуют ГОСТ 7769-82, и, исходя из первоначальных тестовых экспериментов, могут быть использованы как антифрикционные материалы или предложены в качестве прототипа подложки для дальнейшего нанесения упрочняющих покрытий.

#### Список использованных источников

1. Функциональные материалы и технологии с эффектом самоупрочнения при эксплуатации [Электронный ресурс]. режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/286449477.pdf>. Дата доступа: 16.04.2021.
2. ГОСТ 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами [Электронный ресурс]. режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200011542>. Дата доступа: 16.04.2021.