



There are given the structure and characteristics of high-phosphorous cast irons and cast irons with ball-shape graphite in the article.

М. А. САЙКОВ, К. В. СЕРИКОВ, РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»,
Е. И. МАНУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,
В. М. КАРПЕНКО, ГГТУ им. П.О. Сухого

УДК 621.741669.131.7-13

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОФОСФОРИСТЫХ ЧУГУНОВ И ЧУГУНОВ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Серые высокофосфористые чугуны относятся к достаточно распространенным конструкционным материалам, применяемым для изготовления деталей цилиндропоршневой группы двигателей, тормозных устройств механизмов сцепления, фрикционных механизмов трения, металлорежущих станков, кузнечно-прессового и литейного оборудования [1–3]. Для изготовления деталей, работающих в паре с закаленными или нормализованными стальными валами, используются перлитные серые чугуны АЧС-1 и АЧС-2, содержащие, согласно ГОСТ 1585-85, от 0,15 до 0,4% Р. При изготовлении гильз цилиндров и поршневых колец из перлитного серого чугуна с пластинчатым графитом содержание фосфора повышают до 0,3–0,7%, а для деталей тормозных устройств и фрикционных механизмов трения используют износостойкие чугуны с содержанием 0,5–2,0% Р.

В настоящее время хорошо отработаны технологические процессы изготовления тонкостенных износостойких отливок из серых чугунов с содержанием от 0,05 до 0,75% Р. Муфты, втулки и гильзы, работающие в паре с термически необработанными валами, изготавливают из перлитно-ферритного чугуна АЧС-3 с содержанием до 0,4% Р, 0,2–0,5% Сu, 0,03–0,1% Тi и до 0,12% S. Отливки не подвергаются термической обработке. Твердость отливок составляет 160–190 НВ. Для ребристых цилиндров двигателей воздушного охлаждения используются чугуны, легированные до 0,63% Ni и 0,65–0,75% Р [3]. Тонкостенные гильзы карбюраторных двигателей изготавливают из СЧ20 и СЧ25 как с обычным (до 0,15% Р), так и повышенным (0,17–0,3% Р) содержанием фосфора. Соотношение Si/C при содержании 0,7–1,0% Mn обычно составляет 0,85–0,95, что обеспечивает повышенные прочностные свойства ($\sigma_b = 205\text{--}300$ МПа) и твердость НВ 182–250.

В табл. 1 даны физико-механические свойства и характеристики микроструктуры отливок из

модифицированных серых чугунов с широким диапазоном по массе (от 0,5 до 3000 кг) и приведенной толщине R (от 3 до 220 мм), полученных в производственных условиях с использованием способов литья: в литейные формы из ПСС, отверждаемых феррохромовым шлаком; в оболочковые формы, изготовленные из горячеплакированных смесей со связующим СФ 0,15 и водоохлаждаемые кристаллизаторы по НГЛИТ-процессу.

Ударную вязкость (КСУ) определяли на образцах размером 10x10x55 мм с надрезом 0,2 мм, а износостойкость – при ударно-абразивном изнашивании (по ГОСТ 23.207-79) с использованием в качестве абразивного материала карбида кремния черного с размером зерна 0,88 мм. Прочность σ_b определяли на цилиндрических образцах диаметром 6 мм с десятикратной длиной, а микроструктуру – на модернизированном металлографическом микроскопе МИМ-7 с телекамерой и выводом изображения на монитор компьютера и соответствующей обработки в соответствии с требованием ГОСТ 3443-87. Для лабораторных исследований тонкостенных отливок R=15–25 мм ответственного назначения использовали чугун состава, мас. %: С – 3,0–3,3; Si – 2,3–8,7; Mn – 0,5–0,7; Р – до 0,3; железо и технологические примеси – остальное при $S_p = 0,85\text{--}0,96$ и Si/C от 0,7 до 0,9. В производственных условиях использовали чугун с более высоким содержанием С и Si и с более низкими концентрациями Р и Mn. В чугунах содержались также другие микролегирующие добавки (Cu, Al, Ti, Ni, Se, Ca и др.) и примеси (табл. 2).

Структура половинчатого чугуна (ледебурит, перлит, фосфидные и графитные включения) возникает в чугунах с 0,15–0,25% Р при оболочковом литье при увеличении концентрации марганца от 0,3–0,5 до 0,7–1,1% и снижении содержания кремния до 1,3–2,3%.

Таблица 1. Физико-механические свойства отливок из серых чугунов

Способ литья	Класс точности отливок по ГОСТ 26645-85 (КТ)	Диапазон отливок по массе (в кг) и приведенной толщине (R), мм	Степень эвтектичности чугуна S _э	Легирующие и модифицирующие компоненты, мас. %				Микроструктура чугуна в отливках	Плотность чугуна ρ, г/см ³	Механические свойства			Средний износ I _{ср.} , мг/гс
				Si	Mn	Cr	другие элементы			σ _b , МПа	НВ	KCU, Дж/см ²	
Литье в формы ПСС	КТ9-10 КТ10	100–1500 R=30–220	0,6–0,9	1,6–2,5	0,4–1,5	0,05–1,30	Ni – 0,03–1,2; P – 0,1–1,1; Cu, Ca, S, Al, Ce, N – 0,03–1,5	ПД1Д; ПД1,4; П45(Ф55); ПГ90; ПГд150 ПГф1; ПГф2; ФЭ1; ФЭП6000; ФЭр2; ФЭд400	6,8–7,1	180–310	140–229	2,1–8,0	510–850
Точное оболочковое литье	КТ6, КТ7, КТ8	0,5–18 R=3–30	0,75–0,95	1,8–2,9	0,3–0,7	0,03–0,5	Cu – 0,02–0,35; P – 0,02–0,13; Ni, Ti, Al, N, Ca, Ce – 0,05–0,7	ПД05; ПД1,0; П85(Ф15); ПГд45; ПГф2; ФЭ1; ФЭд2000; ФЭр2; ФЭд250	6,9–7,1	240–360	163–231	9,0–15	280–430
НГЛИТ-процесс	КТ7, КТ8	30–3000 R=6–170	0,75–1,0	2,3–3,8	0,4–1,5	0,01–1,2	P – 0,03–0,5; Cu – 0,02–0,5; Ni, Ti, Al, N, Ca, PЗМ – 0,1–0,7	ПД0,3; ПД0,5; П92 (Ф8); ПГф1; ПГд25; ФЭ2; ФЭр1; ФЭп6000	7,2–7,35	255–370	182–269	11–16	212–330

Таблица 2. Структура и свойства отливок из серых износостойких чугунов

Толщина отливки R _{пр.} , мм	Содержание, мас. %			Структура чугуна в отливках	Механические свойства		Средний износ, мг/гс	Марка чугуна
	C	Si	P		σ _b , МПа	НВ		
30–50	3,1–3,3	2,5–2,7	0,07–0,09	П96 (Ø4); ПГ4; ПГф2; ПГД45; ФЭ2; ФЭП13000	207–215	217–221	630–690	СЧ20
50–90	2,8–3,1	2,1–2,3	0,13–0,15	П92 (Ø8); ПГ4; ПГ6; ПГф2; ФЭ2; ФЭР2; ФЭП2000	188–205	182–212	671–712	СЧ15 СЧ20
120–170	2,7–3,1	1,9–2,1	0,22–0,35	П85 (Ø15); ПГ4; ШГф2; ФЭ2; ФЭР1	170–189	169–195	542–570	СЧ15

В массивных отливках с R_{пр.} > 50 мм соотношение Si/C снижают до 0,70–0,85. Однако без дополнительного легирования такие отливки обладают низкими характеристиками прочности, твердости и износостойкости даже при высоком содержании перлита (85–96%) и низком содержании феррита (4–15%).

При изготовлении массивных отливок из высокофосфористых чугунов необходимой и эффективной технологической операцией является присадка модификаторов в количестве 0,02–0,15% от массы выплаваемого чугуна. Эффективными мо-

дифицирующими элементами являются Ti, Al, В и Sb. Фосфидная эвтектика в немодифицированных чугунах располагается неравномерно и преимущественно по границам в виде замкнутой сетки, а при модифицировании Fe–Si–P–C сплава 0,08–0,12% Се или других РЗМ цериевой группы даже в массивных отливках с R_{пр.} = 50–170 мм отмечается повышение дисперсности металлической основы (с Пд1,4–Пд2,0 до Пд0,5–Пд1,0) фосфидной эвтектики и других структурных составляющих. На рис. 1 показано влияние фосфора на твердость НВ и ударную вязкости

КСУ модифицированных 0,08–0,12% Се чугунов с $S_2 = 0,75–0,80$ в отливках с $R_{пр} = 120–170$ мм. Установлено влияние ряда микролегирующих элементов на твердость фосфидной эвтектики. При микролегировании чугуна, содержащего 0,3–0,5 % Мп, 0,07–0,1% Cr, 0,28–0,3 % Р, 3,1–3,3% С и 2,4–2,7% Si и до 0,1% S ванадием в количестве 0,4–0,75% отмечено не только повышение твердости металлической основы отливок, но и непосредственно фосфидной эвтектики от 510–550 до 680–920 HV (рис. 2). На рис. 3 показан средний износ образцов в условиях ударно-абразивного изнашивания из немодифицированного фосфористого чугуна с 0,28–0,3% Р (кривая 1), модифицированного 0,08–0,12% Се чугуна с таким же содержанием фосфора (кривая 2) и микролегированного фосфористого чугуна, содержащего 0,15% V, 0,03–0,05% В, 0,12–0,17% Cr и 0,08–0,1% Се (кривая 3) при разной S_2 .

С переходом от ваграночной плавки чугуна на индукционную температура расплавленного металла повысилась до 1470–1500°C, что позволило более эффективно использовать для микролегирования карбидо- и нитридообразующие компоненты (Mn, Cr, V, В, Се и др.), но это привело к увеличению угара и безвозвратных потерь графитизирующих компонентов (Si, Ti, Al и др.). С учетом требований действующих ГОСТ и ТУ с целью увеличения чистоты металла по неметаллическим включениям без усадочных дефектов со стабильными механическими свойствами и снижения угара и безвозвратных потерь принято четкое разграничение количества основного и микролегирующих компонентов в чугунах. Микроструктуру отливок оценивали по ГОСТ 3443-87 с помощью микроскопа МИМ-7М, износостойкость сплавов определяли при ударно-абразивном изнашивании в соответствии с ГОСТ 23.2077-79. В качестве абразивного материала использовали карбид кремния черный с размером зерна 0,63 мм. Продолжительность испытаний – 90 гс. Для оценки механических свойств исследованных чугунов определяли σ_b на образцах диаметром 6 мм с 10-кратной рабочей длиной (по ГОСТ 1497-84) и КСУ на образцах размером 10x10x55 мм без надреза.

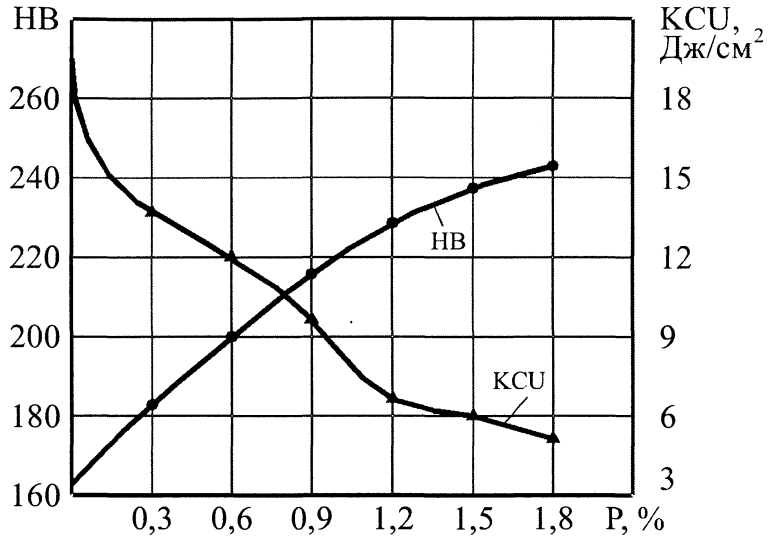


Рис. 1. Влияние фосфора на твердость (HV) и ударную вязкость (КСУ) чугунов с $S_2 = 0,75$, модифицированных 0,08–0,12% Се

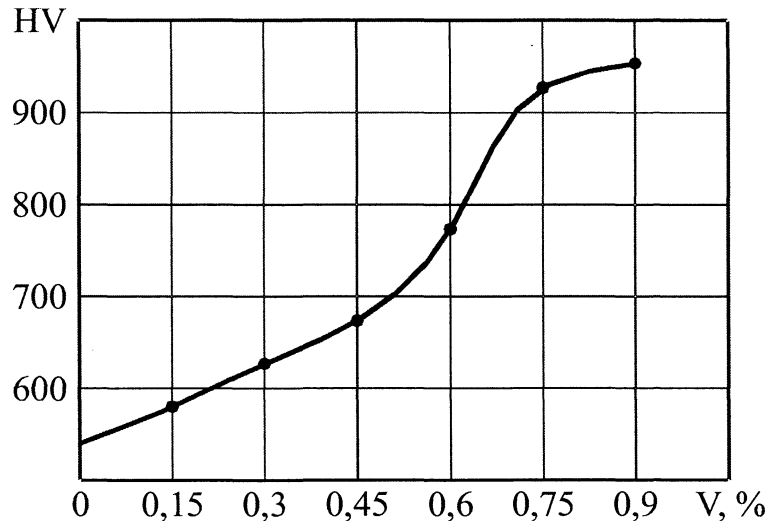


Рис. 2. Влияние ванадия на твердость фосфидной эвтектики фосфористого чугуна (0,28% Р; 0,3–0,5% Мп и 0,07–0,1% Cr)

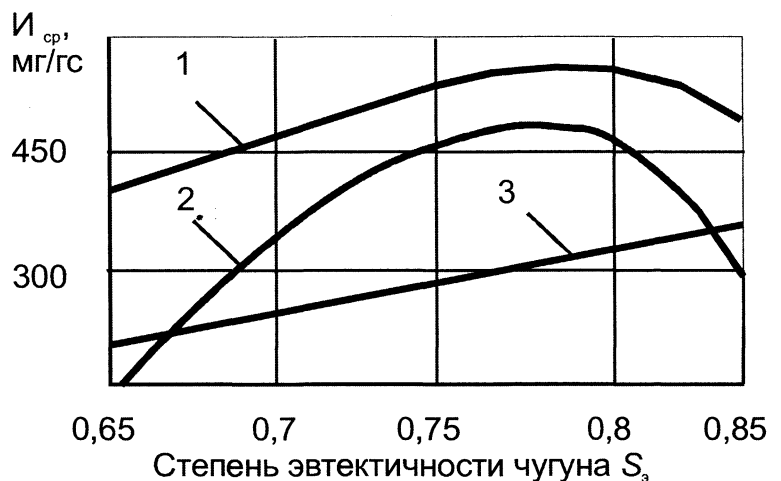


Рис. 3. Средний износ в условиях ударно-абразивного изнашивания фосфористых (0,28–0,3% Р) чугунов, содержащих 0,3–0,7% Мп и до 0,006% S: 1 – немодифицированный; 2 – модифицированный 0,08–0,12% Се; 3 – модифицированный 0,08–0,12% Се и микролегированный 0,12–0,17% Cr, 0,15% V и 0,03–0,04% В

Для повышения твердости и износостойкости средних и крупных по развесу деталей для металлорежущих станков и электроаппаратуры из серого чугуна марки СЧ30 применяли ковшовое микролегирование V (0,12—0,5%), В (0,02—0,03%) и N (0,1—0,3%) лигатурами на основе V и Сг и комплексные лигатуры с добавками нитридов и боридов РЗМ на основе Ni, V и Si. Последние лигатуры позволили получить низколегированные чугуны для изготовления трубных заготовок и цилиндрических мелющих тел, работающих в коррозионно-абразивных средах при ударном нагружении. Микротвердость чугуна с содержанием боридов РЗМ от 0,05 до 0,2 и от 0,3 до 0,1% составляет 5180-5920 МПа, а износ цилиндрических втулок при скорости гидроабразивных цульп до 3,5 м/с составляет 7,6—51 мг/(см²·ч).

В массивных отливках из высокофосфористых чугунов с содержанием 0,3-0,9% P высокие характеристики предела выносливости при изгибе.

твердости HB и кавитационно-временной стойкости позволяют получить такие микролегирующие элементы, как Ni, Mo, B, Si и Sn. Использование комплексной лигатуры [4], содержащей 22—27% B, 12-15% Si, 6-11% Sn, 10-15% CrN, 7-12% VN, 6-8% Al, 5-10% P и железо - остальное в количестве 0,6-0,8% от массы расплавленного металла, позволит повысить предел прочности ~~с~~ на 120-165 МПа и коррозионную усталость - на 90-110 МПа. Твердость в отливках диаметром 30—50 мм составит 282-320 HB.

Литература

1. Карпенко М.И., Марукович Е.И. Износостойкие отливки. Мн.: Наука и техника, 1984.
2. Бобров Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Металлургия, 1976.
3. Конструкционные материалы: Справ. / Б.Н.Арзамасов, В.А.Брострен, Н.А.Буше и др. М.: Машиностроение, 1990.
4. Лигатура: А.с. 1488342. СССР: Кл. 022С 35/00.