



*It is shown that Cr, Si and Cu influence mostly on the process of structure formation of castings at founding by directional hardening.*

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧШГ НА СТРУКТУРУ ЗАГОТОВОК ПРИ ЛИТЬЕ НАПРАВЛЕННЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) является одним из наиболее перспективных материалов для современного машиностроения. Сдерживание производства ЧШГ в Республике Беларусь, как и в странах СНГ, определяется технологическими трудностями в получении отливок без отбела с заданными свойствами. Известно, что ЧШГ имеет высокую склонность к метастабильной кристаллизации. Это приводит к тому, что основная масса литья из этого чугуна подвергается длительной термической обработке (отжигу). Метод литья направленным затвердеванием позволяет получать полые цилиндрические заготовки из ЧШГ без отбела с заданной структурой [1, 2]. Она, как известно, во многом зависит от химического состава отливок ЧШГ.

Исследовали влияние углерода, марганца, кремния, хрома и меди на структуру заготовок из ЧШГ. Основу шихты для плавки ЧШГ составлял чугун ПВК-2 состава, %: углерод – 4,24; кремний – 0,71; марганец – 0,56; фосфор – 0,05; хром – 0,017; сера – 0,023. Плавку проводили в индукционной печи ИСТ-016 с кислой футеровкой. Температура жидкого металла составляла 1760–1780 К. Сфероидизирующее модифицирование проводили в ковше «сэндвич»-процессом совместно с графитизирующим модифицированием 75%-ным ферросилицием. Перед сфероидизирующим модифицированием расплав обрабатывали 75%-ным ферросилицием в количестве 0,3%

от массы плавки. В качестве сфероидизирующих модификаторов использовали лигатуру ЖКМК-5р состава, %: магний – 9,3, кальций – 5,6, РЗМ-4, кремний – 53,3, остальное – железо и лигатуру ФСМг состава, %: магний – 6,9, кальций – 2,7, алюминий – 0,78, РЗМ – 106, кремний – 50,0, остальное – железо. Сфероидизирующую лигатуру добавляли в количестве 1,2 – 1,4 % от массы плавки. Разливку модифицированного расплава осуществляли при температуре 1635 К на двухпозиционной машине непрерывно-циклического литья намораживанием. Извлекаемые из кристаллизатора заготовки помещали в закрывающийся ящик, футерованный ультраалюмоуглеродным шамотным кирпичом. В нем отливки самоотжигались, охлаждаясь со скоростью 0,2 К/с. Это обеспечивало получение литых заготовок без отбела. При литье ЧШГ методом направленного затвердевания углеродный эквивалент отливок должен составлять 4,0–4,2 [3]. Концентрация кремния в заготовках из ЧШГ обычно не превышает 3% [4]. Это объясняется тем, что предельное содержание кремния, переводящее ЧШГ в хрупкое или частично хрупкое состояние за счет образования силикокарбидов составляет около 3% [5]. Поэтому содержание углерода в отливках, полученных литьем направленным затвердеванием, обычно находится в интервале 3,1–3,5%. В этом диапазоне углерод, при прочих равных условиях, влияет на структуру отливок ЧШГ (см. таблицу).

Влияние углерода на структуру отливок ЧШГ

Номер плавки	Модификатор	Химический состав, %							Содержание феррита, %
		C	Si	Mn	Cr	P	Ni	Cu	
9064	ЖКМК-5р	3,41	2,5	0,68	0,2	0,07	0,68	0,6	30
9068	ЖКМК-5р	3,13	2,6	0,67	0,19	0,06	0,65	0,63	40

На основании приведенных данных (см. таблицу) следует полагать, что при литье направленным затвердеванием углерод в диапазоне концентрации 3,1–3,4 слабо влияет на структурообразование в отливках ЧШГ.

Влияние марганца на структуру ЧШГ исследовали для заготовок следующего состава, %: углерод – 3,33–3,49; марганец – 0,13–1,12; кремний – 2,70–2,89; хром – 0,13–0,14; фосфор – 0,06–0,10; никель – 0,5–0,63; медь – 0,45–0,65.

Результаты приведены на рис. 1. При содержании марганца 0,13% отливки получались полностью ферритными, при  $Mn = 1,12\%$  — перлитно-ферритными с содержанием эвтектического цементита 2–4%. В диапазоне концентрации 0,4–0,7% марганец слабо влияет на структурообразование в отливках ЧШГ.

Влияние хрома на структуру ЧШГ исследовали для заготовок следующего состава, %: углерод — 3,15–3,31; марганец — 0,50–0,69; кремний — 2,70–2,9; хром — 0,08–0,27; фосфор — 0,06–0,07; никель — 0,48–0,67; медь — 0,50–0,63. Результаты представлены на рис. 2. При содержании хрома 0,08% структура отливок полностью ферритная. При концентрации хрома 0,20% — перлитно-ферритная, при  $Cr = 0,27\%$  в структуре отливок содержится до 6% цементита.

Влияние кремния и меди на структуру ЧШГ исследовали для заготовок следующего состава, %: углерод — 3,36–3,47; марганец — 0,50–0,67; фосфор — 0,06–0,09; никель — 0,45–0,56; кремний — 1,60–3,0; хром — 0,08–0,15; фосфор — 0,06–0,07; медь — до 0,64.

Поскольку хром оказывает очень большое влияние на процесс структурообразования заготовок ЧШГ, то влияние кремния и кремния с медью исследовали для двух диапазонов концентрации хрома. Первый — 0,08–0,1% Cr, второй — 0,13–0,15% Cr. Результаты исследований показаны на рис. 3. Из рисунка следует, что кремний и медь, как и хром, оказывают существенное влияние на процесс структурообразования заготовок при литье направленным затвердеванием. В отсутствие меди при  $Cr \leq 0,1\%$ , используя в качестве сфероидизирующего модификатора лигатуру ФСМг-6, полностью ферритные литые заготовки можно получать при минимальной концентрации кремния 2%. Медь увеличивает эту концентрацию до 2,5%, а увеличение хрома до 0,13–0,15% — до 3%.

Установлено, что сфероидизирующая лигатура ЖКМК-6 обладает большей графитизирующей способностью, чем лигатура ФСМг-4 [6]. Это объясняется тем, что в ЖКМК-6 больше концентрация РЗМ. В используемой лигатуре ЖКМК-5р 4% РЗМ, а в ФСМг-6 — только 1,06%. Поэтому графитизирующая способность сфероидизирующего модификатора ЖКМК-5р выше, чем ФСМг-6. Отсюда следует, что при использовании лигатуры ЖКМК-5р полностью ферритные литые заготовки можно получать при содержании кремния в отливках ЧШГ менее 2%. При этом в них не должна содержаться медь, а концентрация хрома — не превышать 0,1%.

Таким образом, при литье направленным затвердеванием для стабильного получения литых заготовок без эвтектического цементита необходимо, чтобы  $Mn \leq 1\%$ ;  $Cr \leq 0,2\%$ . Кремний, хром и медь оказывают существенное влияние на получение литых заготовок ЧШГ с заданной структурой.

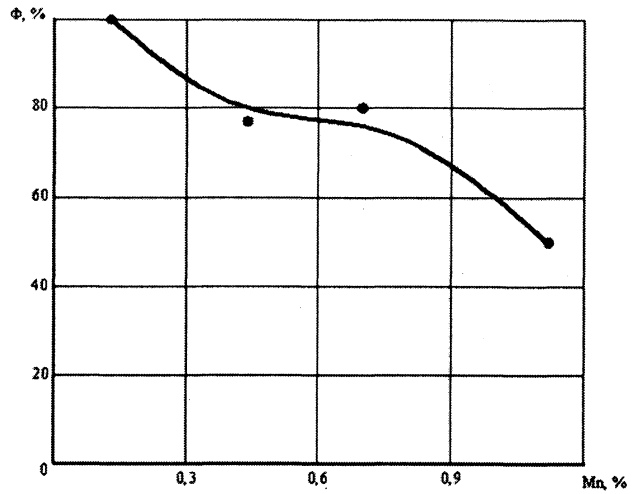


Рис. 1. Влияние марганца на литую структуру заготовок ЧШГ, сфероидизирующий модификатор ЖКМК-5р

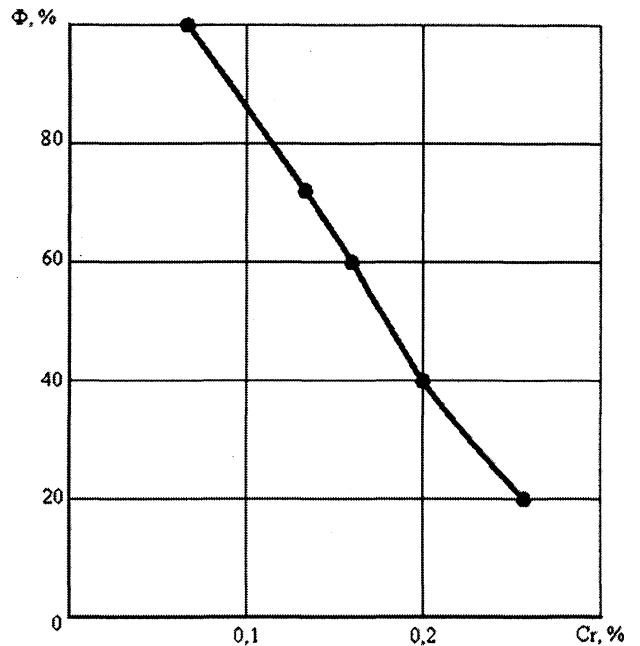


Рис. 2. Влияние хрома на литую структуру заготовок ЧШГ, сфероидизирующий модификатор ЖКМК-5р

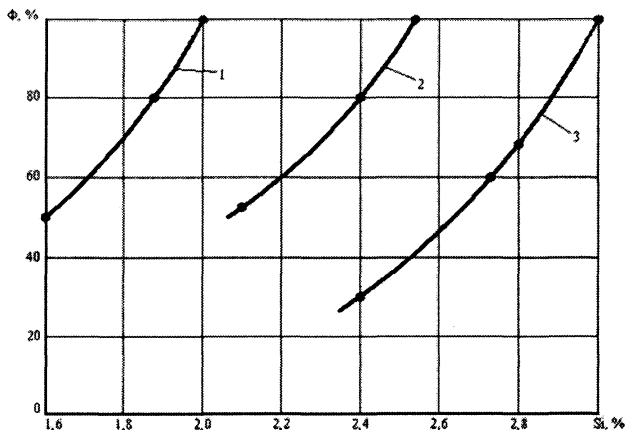


Рис. 3. Влияние кремния и меди на литую структуру заготовок ЧШГ: 1 — сфероидизирующий модификатор ЖКМК-5р,  $Cu = 0,50-0,64\%$ ,  $Cr = 0,13-0,15\%$ ; 2 — сфероидизирующий модификатор ФСМг-6,  $Cu = 0,50-0,64\%$ ,  $Cr = 0,08-0,10\%$ ; 3 — сфероидизирующий модификатор ФСМг-6,  $Cr = 0,08-0,10\%$

**Литература**

1. Мазько В.С., Павленко З.Д., Стеценко В.Ю. Получение отливок из высокопрочного чугуна методом направленного затвердевания // Современные технологии процесса получения высококачественных отливок, повышение стойкости литейной оснастки и режущего инструмента: Тез. докл. Чебоксары, 1987. С.125.
2. Стеценко В.Ю., Мазько В.С. Литье полых цилиндрических отливок из ВЧШГ методом направленного затвердевания // Повышение качества непрерывнолитых заготовок и эффективности процесса: Тез. докл. Могилев, 1990. С.58.
3. Марукович Е.И., Мазько В.С., Стеценко В.Ю. Затвердевание отливок из чугуна с шаровидным графитом при непрерывно-циклическом литье // Литье и металлургия. 2001. № 2. С. 58–59
4. Щербатинов Н.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. Высокопрочный чугун в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988.
5. Шевчук Л.А. Структура и свойства чугуна. Мн.: Наука и техника, 1978.
6. Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Чудаков С.Р. Влияние сфероидизирующих модификаторов на графитизацию чугуна при непрерывном горизонтальном литье // Литье и металлургия. 2000 № 1. С. 33–36.