



*The results of adjustment of the technological process of casting of the cylinders block head ingots of cast iron with vermicular shape of graphite are presented.*

А. Н. КРУТИЛИН, В. А. РОЗУМ, В. С. ЛОСЬ, Ю. Г. ПАНАРАД, А. Н. КУЗЬМИЧ, БНТУ,  
А. Н. КАРАСЬ, С. Г. КОРЕНЮК, ПО «МТЗ»

УДК 621.746.628

## ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ГОЛОВОК БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА НА ПО «МТЗ»

Разработка и создание двигателей мощностью до 300 л.с. для энергонасыщенных тракторов семейства «Беларус» требуют освоения новых перспективных конструкционных материалов. Эксплуатация двигателей на тракторах, работающих в полевых условиях, показала, что уровень пластичных и усталостных свойств серого чугуна не достаточно высок и не обеспечивает длительной и надежной работы.

В качестве альтернативы было предложено опробовать чугун с вермикулярной формой графита марок ЧВГ-30–ЧВГ-40 по ГОСТ 28394-89.

Первый этап отработки технологии проведен в проблемной лаборатории литья (ПЛЛ ПО «МТЗ»).

Плавку металла осуществляли в 150-килограммовой индукционной печи с кислой футеровкой. Для доводки химического состава использовали ферросилиций ФС45, ферромарганец ФМн60, электродный бой. Исследовали влияние величины добавки сфероидизирующего модификатора на структурообразование и свойства чугуна. Механические свойства и структуру чугуна определяли на литых образцах по ГОСТ 28394-89, одновременно заливали клиновидные и ступенчатые пробы для определения влияния толщины стенки отливки на структуру и свойства чугуна. Исходный состав чугуна приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав сплава

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %
3,4–3,8	1,9–2,2	0,4–0,6	0,1–0,15	0,01–0,03	0,02

Модифицирование чугуна проводили в ковше емкостью 30 кг, при этом модификатор укладывали на дно ковша, присыпая его дробью. Количество модификатора – 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 %. Температура модифицирования – 1430 °С. В качестве графитизирующего модификатора использовали Zircinok в количестве 0,2%.

Анализ структуры и свойств металла показал, что при содержании серы до 0,02% модификатор в количестве 0,4% не обеспечивает стабильного получения в структуре вермикулярной формы графита, имеют место области с пластинчатым графитом. Прочность на разрыв – 250 МПа, твердость – 170 НВ.

Использование модификатора в количестве 0,6–0,8% позволило получить более 90% вермикулярного графита. Содержание шаровидного графита не превышало 10% (рис. 1).

Предел прочности на разрыв испытанных образцов 300–350 МПа, твердость – 160–180 НВ. Увеличение количества модификатора до 1% при-

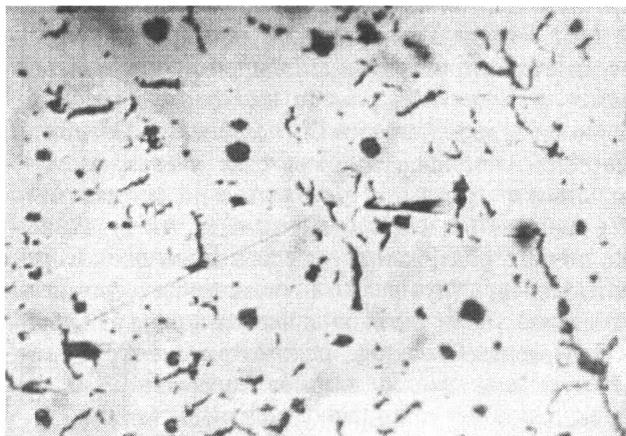


Рис. 1. Структура чугуна с вермикулярным графитом

вели к росту доли шаровидного графита до 30% и, как следствие, повышению прочности до 450 МПа и твердости до 230 НВ. На ступенчатых пробах и образцах для механических испытаний обнаружены усадочные раковины. В структуре

металла зафиксированы включения цементита. Результаты исследования твердости сплава в раз-

личных сечениях при обработке 0,6% модификатора приведены в табл. 2.

Таблица 2. Изменение твердости и структуры сплава в различных сечениях

Показатель	Толщина стенки, мм				
	5	10	20	30	40
Твердость НВ	255	229	207	187	176
Структура	ШГф5-ШГр1 (50%) ВГф2-ВГр1 (50%)	ШГф5-ШГр1 (40%) ВГф2-ВГр1 (60%)	ШГф5-ШГр1 (8%) ВГф3-ВГр2 (92%)	ШГф5-ШГр1 (5%) ВГф3-ВГр2 (92%)	ШГф5-ШГр1 (5%) ВГф3-ВГр2 (92%)

В зависимости от толщины стенки ступенчатой пробы существенно изменяется структура металла. Так, в 5-миллиметровом сечении отливки содержание шаровидного графита составило 40–50%, а в 20-миллиметровом – 5–8% и практически таким же остается в сечениях 30 и 40 мм. Твердость возрастает от 176 НВ в сечении 40 мм до 255 НВ в сечении 5 мм.

Таким образом, было установлено, что при содержании серы в исходном расплаве до 0,02% для стабильного получения чугуна с вермикулярной формой графита необходимо введение 0,6–0,8% модификатора. При содержании серы до 0,01% интервал устойчивого получения вермикулярной формы графита смещался в область 0,4–0,6% сфероидизирующей добавки. Увеличение серы до 0,04% перемещало эту область до 0,9–1,1% модификатора. Но при этом интервал устойчивой зоны всегда составлял 0,2%. Таким образом, проведенные лабораторные исследования показали, что при получении ЧВГ необходимо очень точно соблюдать параметры технологического процесса, а именно выдерживать в жестком диапазоне химический состав исходного металла, температуру заливки и дозировку модификатора.

Исследования показали, что исследуемый модификатор (Vermiloy 1) сохраняет свой эффект в течение 10–12 мин после модифицирования.

Учитывая данные, полученные в лабораторных условиях, дальнейшую отработку технологии изготовления головки блока цилиндров проводили в условиях СЛЦ. Стержни изготавливали в цехе ЛЦ-1 из плакированных смесей. Формовку проводили в сталелитейном цехе на 1-м конвейере. Металл плавил в дуговых электропечах емкостью 6 т. Ниже представлен состав шихтовых материалов:

- стальной лом – 10–30%;
- чугун перелыйный ПЛ-1 – 30–50%;
- возврат высокопрочного чугуна – 40%.

Модифицирование проводили по технологии “ковш–крышка”, емкость ковша 1 т. Вторичное модифицирование проводили при переливе в разливочный ковш модификатором “Zircinok”. Величину добавки варьировали в пределах 0,1–0,3%.

Температуру металла контролировали при выпуске его из печи и заливке форм термопарой погружения.

На первом этапе в цеховых условиях определяли величину добавки модификатора, обеспечивающего стабильное получение вермикулярной формы графита.

Статистический анализ химического состава при серийном получении высокопрочного чугуна в СЛЦ показал, что содержание серы не превышает 0,02%. Исходя из этого, расход модификатора приняли равным 0,8%, а расход графитизирующего модификатора – 0,2%. Температура модифицирования расплава составляла 1450 °С, заливки форм – 1340–1370 °С.

Для фильтрации металла в форме использовали армированные фильтровальные сетки с размером ячейки 2,0x2,0 мм.

Анализ структуры металла в образцах и отливках показал, что при обработке расплава модификатором Vermiloy 1 в количестве 0,8% в образцах имеют место вермикулярная и шаровидная формы графита. Причем доля шаровидных включений графита достигает 30% (рис. 2). Предел прочности составил 460 МПа, твердость, измеренная на образцах, – 207 НВ.

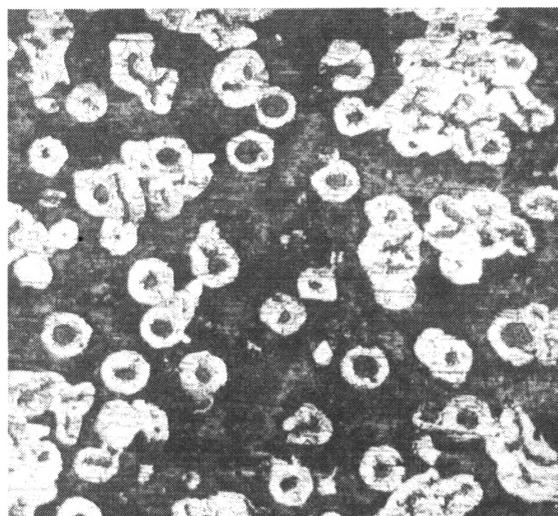


Рис. 2. Структура металла при введении 0,8% модификатора

При исследовании структуры металла в отливках было установлено, что в тонких сечениях (до 20 мм) формируются шаровидные включения графита. В более массивных сечениях преобладает вермикулярная форма графита.

В отливке в зоне отверстия под форсунку были обнаружены усадочные раковины (рис. 3).

Брак по усадке составил 50%. Установка холодильников в этих местах не дала положительных результатов (рис. 4).

С целью снижения доли шаровидных включений графита в структуре чугуна величину добавки модификатора снизили до 0,6%. На моделях были установлены дополнительные прибыли.

Уменьшение расхода модификатора позволило получить в структуре до 92% графита вермикулярной формы. Предел прочности составил 410–460 МПа, твердость – 207–229 НВ. Полученные отливки были плотными, без усадочных дефектов (рис. 5).

Исследования влияния содержания кремния и меди на структуру ЧВГ показали, что при одновременном их уменьшении соответственно до 2,17–2,29 и 0,18–0,19% предел прочности падает до 330–380 МПа, а твердость – до 163–187 НВ. Содержание перлита не превышает 20%. Чугун соответствует марке ЧВГ-30 по ГОСТ 28394-89.

Анализ структуры по сечениям отливок показал, что в тонких сечениях (до 5 мм) формируется шаровидная форма графита в количестве до 30%, в сечениях до 20 мм вермикулярная форма графита составляет 95%.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- модификатор Vermiloy 4 с содержанием Ti до 3% позволяет стабильно получать при электроплавке чугун с вермикулярной формой графита;
- величина добавки модификатора зависит от содержания серы в исходном чугуне. Для стабильного получения чугуна с вермикулярной формой графита содержание серы необходимо

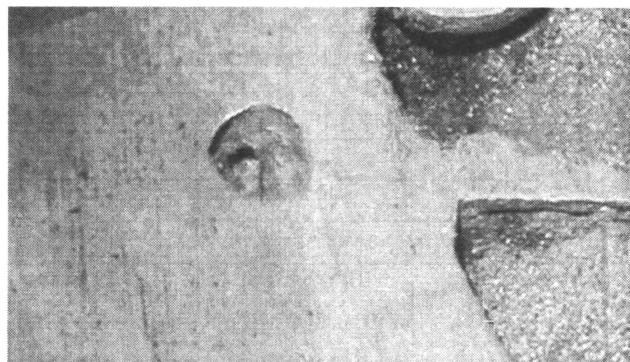


Рис. 3. Усадочная раковина в теле отливки

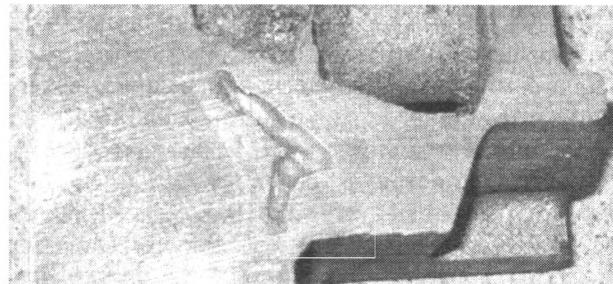


Рис. 4. Усадочная пористость в зоне установки холодильника

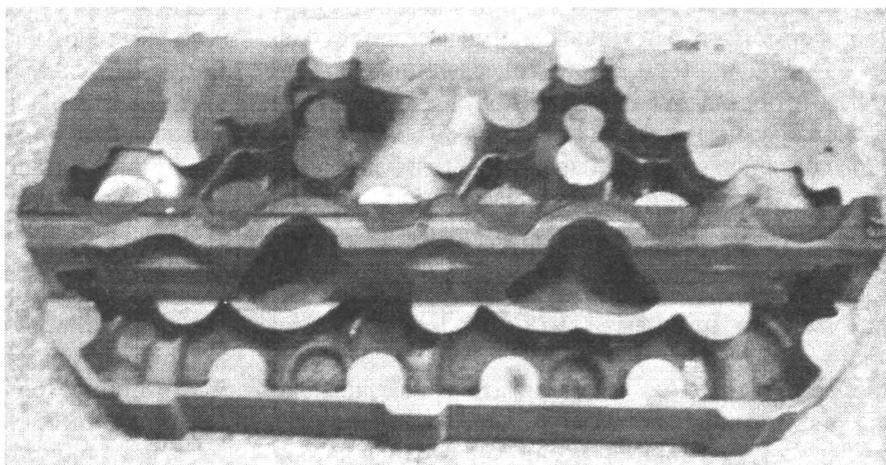


Рис. 5. Отливка с вырезанными участками

поддерживать в пределах 0,01–0,02%. При более высоком ее содержании увеличивается расход модификатора;

- для получения ЧВГ с ферритной структурой рекомендуется состав 4 (табл. 3).

Наиболее стабильные результаты получены при использовании химических составов чугуна, приведенных в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав и свойства чугуна

Номер состава	Химический состав, %					Свойства		
	C	Si	Mn	S	Cu	σ, МПа	НВ	δ, %
1	3,5	2,64	0,66	0,02	0,59	410–460	207–229	1
2	3,57	2,4	0,48	0,01	0,19	460	207	4,5
3	3,64	2,16	0,39	0,017	0,18	330	163	3,5
4	3,46	2,25	0,48	0,01	0,19	380,5	187	5

Несмотря на большое количество проведенных экспериментов, в заготовках головок блока цилиндров после механической обработки имеет место достаточно высокий уровень брака по уса-

дочным раковинам. Дальнейшие эксперименты будут направлены на устранение дефектов усадочного происхождения путем совершенствования технологического процесса литья.