

The results of the investigations of the chemical constitution of the high-duty cast iron on its mechanical characteristics are given.

*В. А. ИЗОСИМОВ, Р. Г. УСМАНОВ, М. Н. КАНАФИН,
ООО «Промышленная компания «НПП»*

УДК 621.74:669.13

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА НА ЕГО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Значительным достижением в развитии машиностроения является разработка способа получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. В этом материале хорошо сочетаются высокие физико-механические и технологические свойства. В результате многочисленных исследований и большого производственного опыта установлено, что высокопрочный чугун (ВЧ) во многих случаях может успешно применяться вместо серого и ковкого чугунов, углеродистой и легированной стали.

Замена обычного серого чугуна высокопрочным позволяет значительно снизить массу отливок за счет уменьшения толщины их сечений при сохранении и даже повышении эксплуатационной надежности.

Наиболее целесообразным в технико-экономическом соотношении является применение высокопрочного чугуна вместо стали для тонкостенных литых деталей сложной конфигурации. Этот чугун по сравнению со сталью обладает в 1,5–2,0 раза большей жидкотекучестью, не склонен к образованию горячих трещин и обеспечивает получение плотного металла в малых сечениях без применения «напусков». Вместе с тем стоимость литья из высокопрочного чугуна на 25–30% ниже стоимости стального литья.

Применение высокопрочного чугуна во многих случаях позволяет значительно снизить массу деталей и повысить коэффициент использования металла. Однако следует отметить, что, несмотря на указанные преимущества высокопрочного чугуна по сравнению с другими литейными сплавами, область его применения и масштабы производства до последнего времени весьма ограничены. Это объясняется тем, что при организации массового производства отливок из этого чугуна встречаются значительные затруднения.

Наиболее трудной задачей является получение отливок из чугуна марок ВЧ40 и ВЧ60 (ГОСТ 7293–85). Вместе с тем применение чугуна этих марок позволяет в наибольшей степени использо-

вать его высокие физико-механические свойства. Основное затруднение заключается в том, что полученный металл не всегда соответствует требованию по механическим свойствам, особенно по характеристикам пластичности и вязкости. В отливках часто образуются дефекты в виде «черных пятен», значительно снижающих прочность деталей. Характерными для отливок из ВЧ являются также усадочные дефекты и мелкие поверхностные газовые раковины. Значительную трудность представляет получение перлитной структуры для марки ВЧ60, в которой феррита должно быть не более 20%.

В целях преодоления указанных затруднений авторами в сотрудничестве с работниками ряда заводов выполнялись работы, по результатам которых разработан и внедрен технологический процесс изготовления отливок из ВЧ, предусмотренных ГОСТ 7293–85. Активное участие в этих работах принимали специалисты различных заводов и кафедры «Литейное производство» ЮУрГУ.

Химический состав, выплавка и разливка чугуна

Многочисленные наблюдения показали, что при производстве ВЧ встречается несколько характерных типов микроструктуры графита. Условно они названы шаровидный, вермикулярный и смешанный.

Установлено, что чугун со смешанной формой графита получается при недостаточных содержаниях магния (менее 0,035%) и углерода в жидком чугуне (менее 3,0–3,2%) перед вводом магния. Следовательно, для получения чугуна с полностью шаровидным графитом необходимо обеспечить определенное содержание магния (0,04–0,1%), а также достаточное содержание углерода. При введении определенного количества магния шаровидный графит получается тем более устойчиво, чем выше содержание углерода в металле перед вводом магния.

Указанная закономерность не всегда согласуется с литературными данными [1, 2], в которых

указывается, что для обеспечения получения шаровидного графита в чугунах с увеличением в нем содержания углерода нужно повышать дозировку магния. Для устойчивого получения шаровидного графита необходимо также, чтобы содержание серы в металле до ввода магния было не более 0,02% [3, 4].

Форма графита в ВЧ оказывает решающее влияние на его пластичность и вязкость и мало сказывается на характеристиках прочности, что видно из рис. 1, 2, где показаны результаты испытания механических свойств этого чугуна множеством плавок.

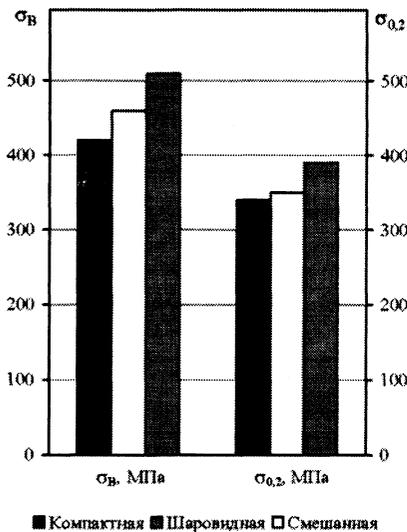


Рис. 1. Влияние формы графитовых включений на прочностные характеристики чугуна

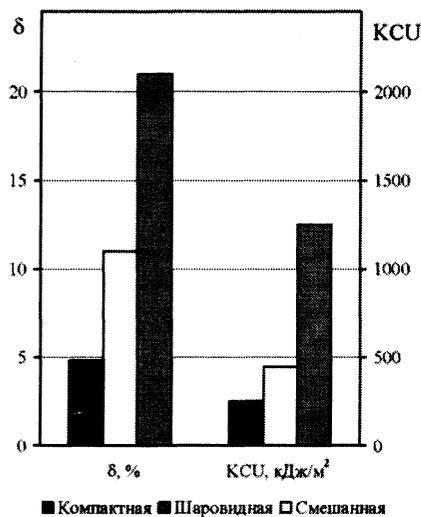


Рис. 2. Влияние формы графитовых включений на пластические характеристики чугуна

Влияние микроструктуры металлической основы на механические свойства ВЧ общеизвестно. Однако возникла необходимость в уточнении количества допустимого перлита в ферритном чугунах, учитывая, что в результате отжига некоторое его количество во многих случаях сохраняется. В связи с этим изучали микроструктуру и

механические свойства чугуна в лабораторных и производственных условиях. Форма графита в этих чугунах была полностью шаровидной. Химический состав колебался в сравнительно небольших пределах.

Полученные результаты (рис. 3) показывают, что в ферритном чугунах марки ВЧ40 допустимо 10–15% перлита, а в марке ВЧ60 может быть не более 10% феррита. В перлитном и ферритном ВЧ совершенно недопустим цементит, так как даже весьма незначительное его количество понижает ударную вязкость до значения менее 1 кДж/см².

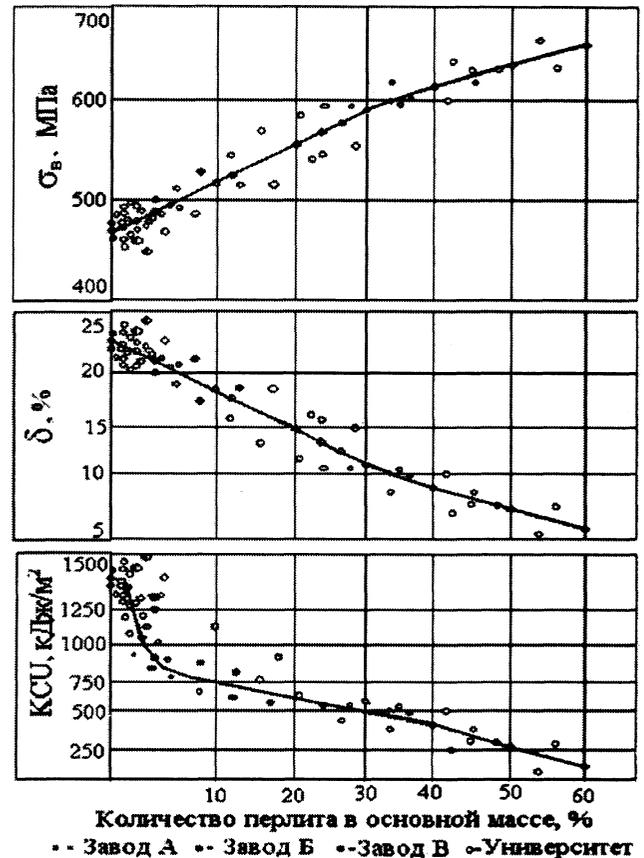


Рис. 3. Влияние количества перлита в металлической основе на механические свойства высокопрочного чугуна

Исследования влияния химического состава ВЧ на его механические свойства проводили на чугунах, выплавленном в лабораторных условиях в индукционной печи, а также в различных производственных агрегатах (вагранки, дуговые электропечи) на ряде заводов Урала. Во всех случаях использовали данные только тех плавок, чугун которых имел полностью шаровидный графит и ферритную металлическую основу в литом состоянии или после отжига (не более 10% перлита). Полученные результаты представлены на рис. 4–7.

Как видно из рис. 4, изменение содержания углерода от 2,4 до 3,9% не оказывает заметного влияния на все характеристики механических свойств ВЧ. Оно может выражаться лишь тогда, когда с понижением содержания углерода возрастает количество перлита, сохраняющегося после

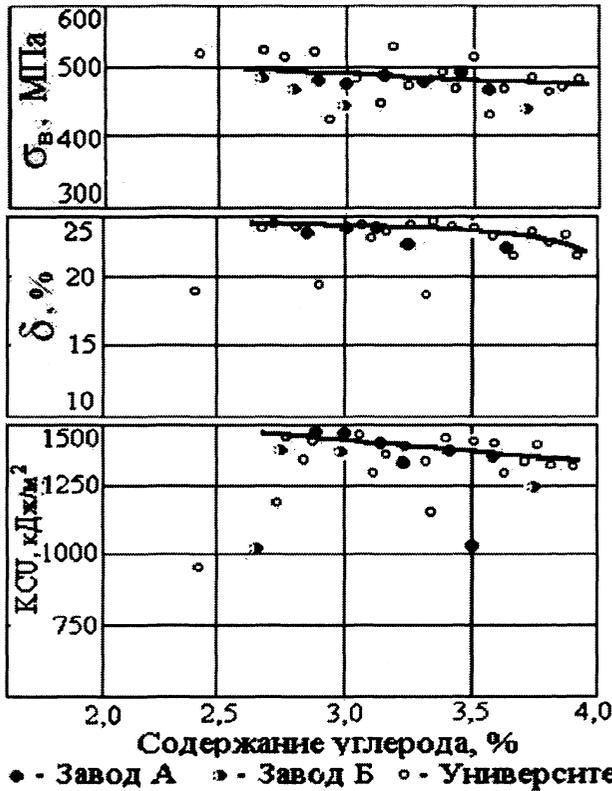


Рис. 4. Влияние углерода на механические свойства высокопрочного чугуна

отжига. При этом вероятно также наличие структурного свободного цементита и графита нешаровидной формы.

С повышением содержания кремния от 2 до 3% механические свойства ВЧ также практически не изменяются (рис. 5). Однако при дальнейшем повышении содержания кремния наступает заметное понижение относительного удлинения и увеличение предела прочности при растяжении. Показатели ударной вязкости при этом резко падают в связи с наличием структурно свободных силицидов магния, происходит охрупчивание феррита, особенно для чугуна ВЧ40.

Влияние марганца аналогично кремнию. Резкое падение ударной вязкости и значительное снижение относительного удлинения наступают при содержании марганца более 0,6% (рис. 6).

Влияние фосфора на понижение пластичности и вязкости ВЧ заметно проявляется при содержании его выше 0,08% (рис. 7).

Получение чугунов марок ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60 вполне осуществимо в вагранках при использовании соответствующих модификаторов. Вместе с тем многие сомневались в возможности получения ВЧ40 из вагранки на холодном дутье, обеспечивающей нагрев чугуна до 1360°C. Подтверждением тому стали сравнительные опыты получения ВЧ в индукционных и дуговых электропечах, а также в вагранке производительностью 3т/ч. Во всех плавках использовали одни и те же шихтовые материалы, поэтому полученный

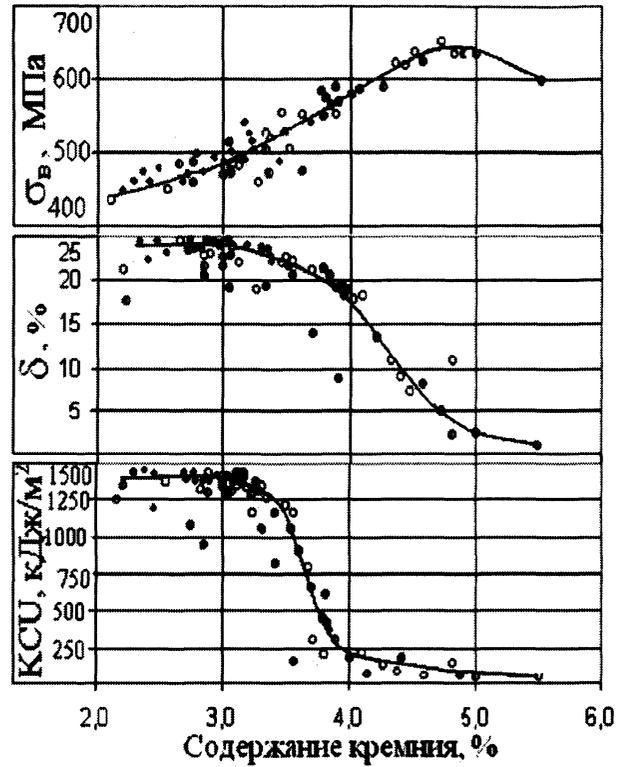


Рис. 5. Влияние кремния на механические свойства высокопрочного чугуна

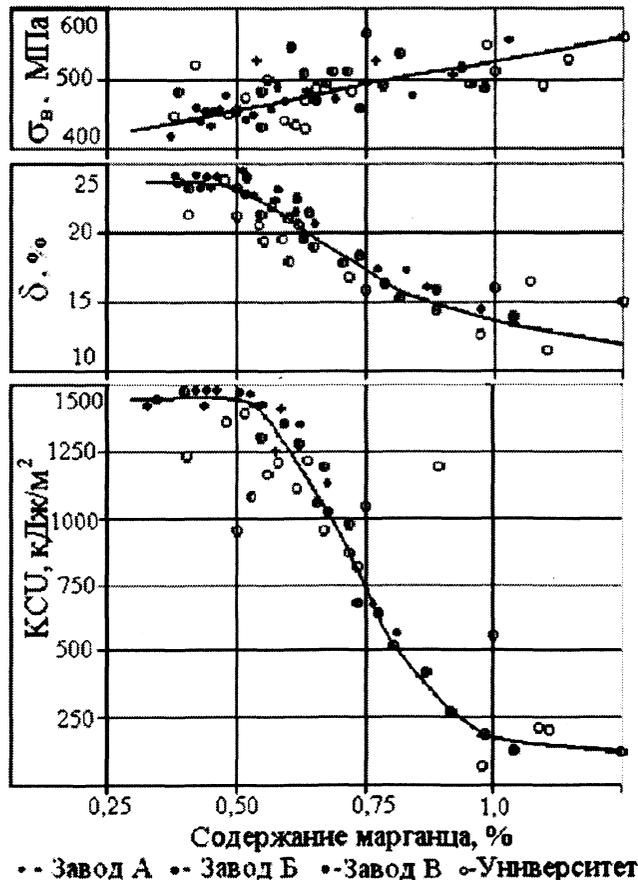


Рис. 6. Влияние марганца на механические свойства высокопрочного чугуна

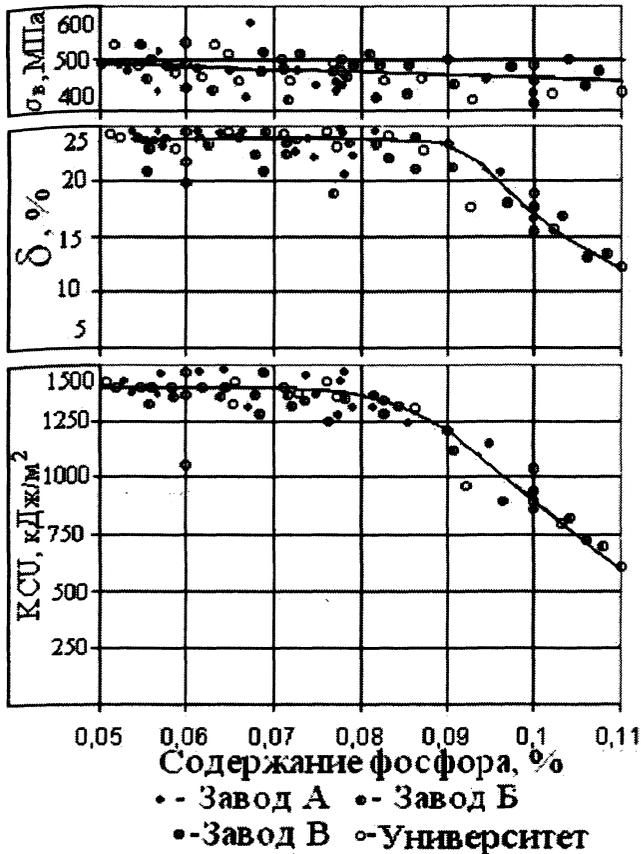


Рис. 7. Влияние фосфора на механические свойства высокопрочного чугуна

металл был практически одинакового химического состава. Отличие состояло лишь в том, что чугун в индукционной и дуговой электропечах нагревался до 1450–1500°C, а в вагранке – до 1360°C. В связи с этим температура ваграночного чугуна при заливке в формы была 1280–1300°C, а электропечного чугуна – 1340–1380°C. Результаты механических испытаний полученного ВЧ (после отжига) (табл. 1) показывают, что чугун, выплавленный в индукционной и дуговой электропечах, имеет более высокие показатели относительного удлинения и ударной вязкости, что связано с повышенной температурой заливки и низким содержанием серы. Остальные характеристики механических свойств вполне удовлетворяют требованиям ГОСТ и для ваграночного чугуна.

При выплавке чугуна марок ВЧ40, ФЧ45, ВЧ50, ВЧ60 использовали обычные передельные чугуны ПЛ1 и ПЛ2 с пониженным содержанием фосфора и марганца.

Опытами установлено, что при производстве отливок из ВЧ40 содержание хрома в шихте не должно быть более 0,1%, для всех других марок – содержание остаточного хрома допустимо до 0,2%.

Весь кремний, вводимый с кремнистыми модификаторами, практически полностью переходит в чугун, что следует иметь в виду при расчете шихты. Учитывая необходимость повышенного содержания углерода в чугуне до его

Таблица 1

Плавильный агрегат	Механические свойства			
	σ _в , МПа	δ, %	КСУ, кДж/м ²	НВ, ГПа
Индукционная печь	470	18	990	170
То же	510	16	980	170
»	550	22,2	1240	187
Среднее	510	18,7	1070	175,7
Дуговая печь	535	18,1	1150	174
То же	523	24,8	1050	174
»	544	18,4	860	174
»	531	19	950	174
Среднее	533,3	20,7	1002,5	174
То же	553	6,9	450	187
»	540	15,4	550	170
»	540	18,5	430	175
»	507	13,8	710	192
»	487	20,6	670	160
Среднее	525,4	15	562	174

модифицирования, стальной лом в шихте следует применять не более 15–20%. Чугунный лом может использоваться в любом количестве, но при условии обеспечения требуемого химического состава чугуна.

В результате введения магниевой лигатуры значительная часть углерода (от 0,2 до 0,8%) переходит в шлак.

При разливке металла в формы должны быть приняты меры, предупреждающие образование «черных пятен», являющихся наиболее распространенным видом дефектов в отливках из ВЧ. Установлено, что «черные пятна» являются преимущественно скоплениями сульфидов магния и графита. На серных отпечатках они представляются в виде резко затемненных пятен – следов

разложившихся при изготовлении шлифа сульфидов магния (рис. 8, 9). При химическом анализе в местах «черных пятен» обнаруживается повышенное содержание углерода и серы (табл. 2).

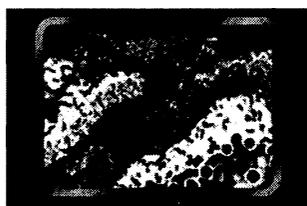


Рис. 8. Неметаллические шлаковые включения, сульфиды, травлено. $\times 100$

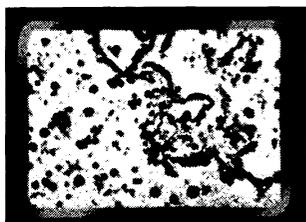


Рис. 9. Комплексные скопления сульфидов и силикатов магния, нетравлено. $\times 20$

Таблица 2

«Черное пятно»		Чистый металл	
содержание, %			
C	S	C	S
3,78	0,16	2,83	0,009
3,68	0,188	2,48	0,01
4,88	0,041	3,0	0,01

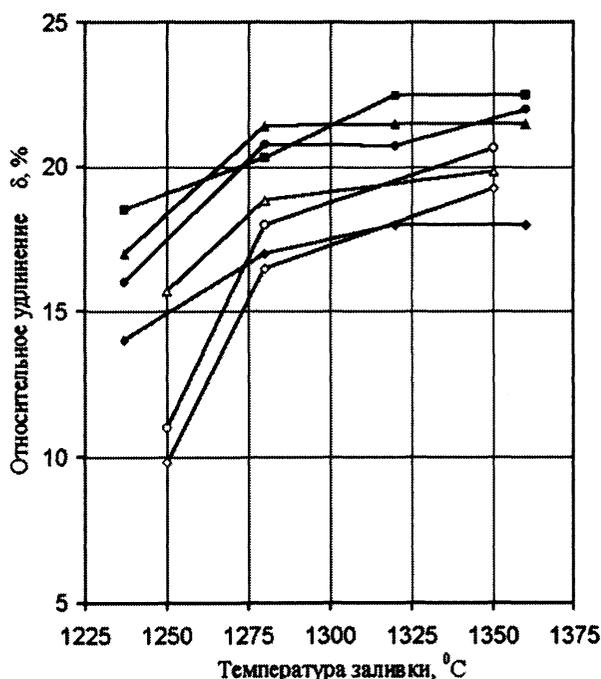
В качестве мер борьбы с дефектами отливок в виде «черных пятен» можно рекомендовать различные способы: повышение температуры заливки, обработку жидкого металла флюсами (карбонат натрия, дисперсит и т.д.). Все эти способы уменьшают, но не устраняют полностью возможность образования «черных пятен» в отливках. Кроме того, каждый из них имеет отрицательные стороны, которые могут привести к неудовлетворительным результатам в отношении формы графита и механических свойств чугуна. Для борьбы с «черными пятнами» можно использовать заливку ковшами с сифонной подачей металла в формы. Опыт показал, что для разливки металла больше 1 т с успехом можно применять обычные стопорные ковши.

Снятием серных отпечатков с темплетов, залитых с применением сифонных или стопорных ковшей, было установлено полное отсутствие «черных пятен».

Весьма важным фактором, определяющим качество отливок из ВЧ, является установление оптимальной температуры заливки.

Были проведены опыты по изготовлению отливок различной толщины стенок, залитых при температурах 1250, 1280 и 1370°C. Температура заливки оказывает значительное влияние на по-

казатели относительного удлинения. Характеристики прочности при этом не изменяются. Из рис. 10 видно, что влияние температуры заливки с уменьшением толщины стенки отливки возрастает. Оптимальной температурой заливки ВЧ следует считать 1320–1340°C. Применение более высокой температуры заливки нецелесообразно, потому что это приводит к понижению усвоения магния, вследствие чего механические свойства чугуна получаются менее стабильными.



Условные обозначения толщин:

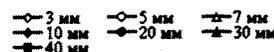


Рис. 10. Влияние температуры заливки на пластичность высокопрочного чугуна

Литература

1. Шапранов И.А. О кристаллизации и механических свойствах высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // Новое в теории и практике литейного производства. М.; Л.: Машгиз, 1956. С. 312–319.
2. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. Л.: Машиностроение, 1966.
3. Кривошеев А.Е., Маринченко Б.В., Фетисов Н.М. Механические свойства чугуна с шаровидным графитом в отливках // Литейное производство. 1972. №5. С. 34–35.
4. Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г., Вареник П.А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев: Наукова думка, 1986.