



It is shown that at organization of production of broad and small-serial nomenclature of casting slugs of iron-carbon alloys the complex approach to solving of problem of the melt preparation is necessary.

А.П. МЕЛЬНИКОВ, НП РУП «Институт БелНИИлит»,
М.И. КАРПЕНКО, ГГТУ им. П.О. Сухого,
М.А. САЙКОВ, РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»

УДК 621.74:669.13-19

УЛУЧШЕНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ

В мировой и отечественной практике накоплен значительный опыт применения в качестве триботехнических литейных материалов для изготовления быстроизнашиваемых деталей машин и механизмов фрикционных и антифрикционных высокопрочных, серых и ковких чугунов, износостойких Fe-Mn-, Fe-Mn-Cr-, Fe-Cr-Ni-, Fe-Cr-V-, Fe-Cr-Mo-, Fe-Al-, Fe-Mn-Ti-, Fe-Si-B-, Fe-Mn-Al-, Fe-Si-Ni- и других сталей и белых чугунов, представляющих собой разнообразные по химическому составу и структуре многокомпонентные сплавы или композиции с широкими интервалами технологических, механических и эксплуатационных свойств. Свойства литых заготовок из износостойких сплавов и композиций определяются не только содержанием легирующих элементов, но и зависят от металлургических особенностей подготовки жидкого металла, внепечной обработки расплава, способа литья и режима термической обработки отливок.

Освоение широкой номенклатуры отливок из высокопрочных и серых чугунов, имеющих сложные геометрические профили и регламентированные требования по герметичности, твердости, износостойкости, технологичности, обрабатываемости, специальные требования по качеству и эстетические требования по внешнему виду и качеству поверхности, на Гомельском заводе «Центролит» показало, что на надежность и долговечность литых заготовок не менее существенное влияние оказывают тепловые процессы литья, непосредственно связанные с теплофизическими свойствами литейных форм, и качество расплава по содержанию примесей и неметаллических включений. Это особенно характерно при литье в формы с интенсивным теплоотводом, что

необходимо учитывать при производстве отливок и профильных заготовок методами непрерывного литья на установках с водоохлаждаемыми кристаллизаторами, центробежного литья, в кокиль и жидкой штамповки. Новые процессы производства фасонных отливок в облицованных кокилях и профильных заготовок ответственного назначения непрерывным горизонтальным литьем в водоохлаждаемый кристаллизатор (НГЛИТ-процесс), получивших распространение на многих предприятиях, предполагают создание в литейных формах и кристаллизаторах высоких (10^2 – 10^4 °C/c) скоростей охлаждения кристаллизующегося металла с целью получения высокодисперсных структур с минимальной ликвацией основных (Fe, Si), легирующих и модифицирующих компонентов и технологических примесей. Такие процессы, как струйное формование сплавов на подложку, являющейся кристаллизатором, когда капли расплава осаждаются в переохлажденном жидком или твердожидком состояниях, СФПИТ-процесс, как и непрерывное литье в валках (НЛВИТ-процесс), имеют наиболее высокую скорость охлаждения (10^3 – 10^5 °C/c) и недостаток – повышенный отбел заготовок.

Ранее было установлено [1], что литейные сплавы и композиции для износостойких деталей и технологической оснастки при использовании способов литья с интенсивным теплоотводом можно дополнительно легировать боридами, нитридами и другими металлоподобными соединениями. Количество вводимых нитридов и боридов зависит от температуры выплавляемого расплава, его химического состава, способа литья и заданных эксплуатационных свойств и функций литой детали и может достигать при объемном легировании до 0,4%, а при поверхностном и локаль-

ном легирования – до 0,7–0,8%. Азот хорошо усваивается при продувке легированных чугунов и присадке азотированных ферросплавов и азотсодержащих лигатур и позволяет экономить такие дорогостоящие легирующие элементы, как никель, медь, хром и марганец.

На рис.1 показано влияние легирования азотированными ферросплавами на прочность чугуна, содержащего С – 3,3–3,6; Si – 2,2–2,5; Mn – 0,5–0,7; Cr – до 0,35; Ni – 0,3–0,5; P – 0,1–0,12; S – 0,05–0,07; Ti – 0,03–0,05 мас. %; остальное – железо. Ферросплавы в измельченной фракции 0,1–3,0 мм вводили в раздаточный ковш перед выпуском расплава из индукционной печи в количестве от 0,1 до 0,5% к массе заливаемого расплава с температурой 1450–1480°C.

При низком содержании нитридообразующих элементов и в нелегированных чугунах, не содержащих Ti, Al, Cr, Mn, V и B, а также в низкокремнистых чугунах (до 1,5%Si) при недостаточной интенсивности теплоотвода в отливках могут возникать такие дефекты микроструктуры, как высокая пористость и увеличение содержания неметаллических включений по границам зерен, что наблюдалось при продувке азотом чугуна доэвтектического состава с содержанием серы более 0,12%. Микроструктурный анализ показал, что в таких чугунах при недостаточной раскисленности металла возникают более крупные включения типа (Fe,Si) (O, N, S), чем карбонитриды и нитриды типа (M, N), которые заметно начинают снижать упругопластические свойства легированных сплавов.

Исследования по микролегированию отливок из доэвтектического чугуна 2,5–2,7% С и 1,1–1,3% Si, дополнительно содержащего 0,08–0,12% Ni и 0,21–0,3% Cr, при изготовлении их в металлических формах с интенсивным теплоотводом показали, что после нормализации они имеют повышенные характеристики прочности, твердости и кавитационно-эрозионной стойкости. Однако такие отливки плохо обрабатываются резанием, а стойкость резца с пластиной из твердого сплава ВК6М не превышает 27–35 мин при точении цилиндрических профилей диаметром 30 мм. При использовании комплексной лигатуры [2] на основе меди и алюминия с дополнительным содержанием 10–15% карбонитридов хрома, 7–12% нитридов ванадия, 22–27% бора и 6–11%

σ_b , МПа

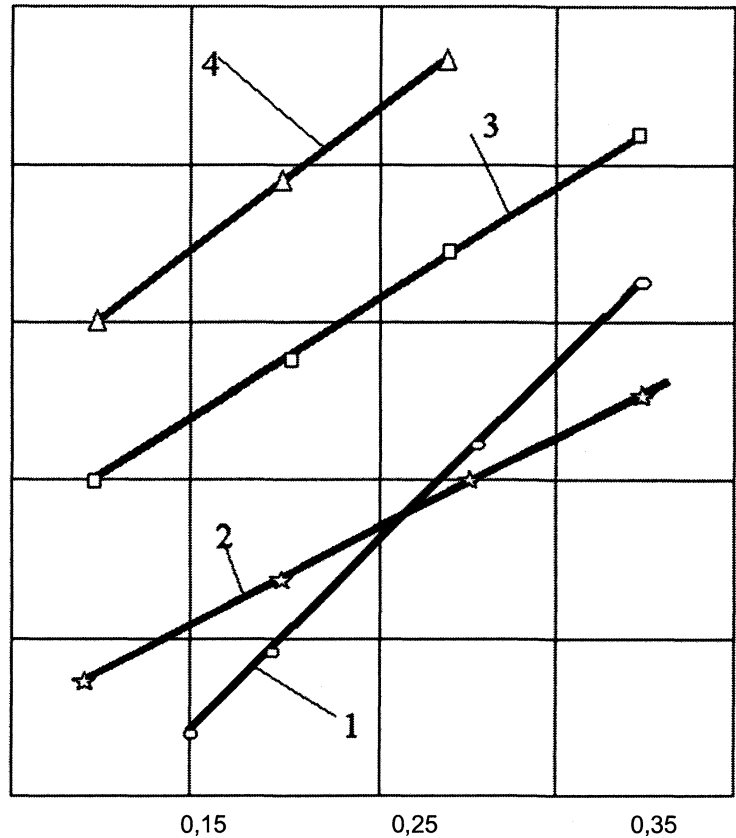


Рис. 1. Влияние легирования азотированными ферросплавами на прочность чугуна: 1 – азотированный силикохром ФСХ30Н; 2 – силикомарганец СМн17Н; 3 – феррованадий ФВд17Н; 4 – азотированный ферромolibден ФМо2Н

олова достигнуты следующие показатели: твердость – $282-296 \cdot 10^{-1}$ МПа и коэффициент кавитационно-эрозионной стойкости $K_{к.э.} = 2,9-3,3$ при заметном снижении в чугуне основных легирующих компонентов Ni, Mn, Cr, Mo и др. Повышение предела прочности коррозионной усталости – 90–110 МПа, а повышение предела прочности при изгибе – 120–163 МПа.

Низкокремнистые мартенситные и бейнитные чугуны обладают широким температурным интервалом формирования износостойких отливок, в результате чего возрастает возможность целенаправленного регулирования структурных комбинаций их металлической матрицы и, следовательно, свойств отливки [3,4]. Разработаны чугун с прочностью $\sigma_b = 581-650$ МПа и повышенной износостойкостью в режиме сухого трения 90–130 мм/1000 м [5] и брикет для модифицирования [6] на основе ЖКМК7 и силикобария, боридов и нитридов алюминия.

Для ответственных износостойких отливок толщиной стенок 50–100 мм (станин станков, компрессоров, блоков двигателей, дизельных цилиндров, деталей металлургического оборудования, электроаппаратуры и т.д.) используются обычно модифицированные серые чугуны с перлитной основой марок СЧ25, СЧ30 и СЧ35. Структура – мелкопластинчатый перлит (сорбит) с мелкими завихренными графитными включе-

ниями. В табл. 1 приведены составы ряда низколегированных (с содержанием легирующих элементов до 3%) чугунов, полученных с исполь-

зованием азотированных ферросплавов и их свойства в отливках, полученных в формах с различным теплоотводом.

Таблица 1. Составы низколегированных чугунов, полученных с использованием ферросплавов и их свойства в отливках

Наименование отливки и способ литья	Химический состав чугуна, мас. %						Микро-структура	Твердость НВ·10 ⁻¹ , МПа	у _в , МПа
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Прочие элементы			
Гильза цилиндров. Кокиль (КЛИТ-процесс)	3,4	2,3	0,6	0,5	0,4	0,01BN 0,03TiN 0,4Cu	Пд 0,5; Гф2, Гр3, Г10, /гр. от 50 до 300 мкм	231–250	310–325
Плита толщиной 90 мм. Песчано-глинистые формы	3,2	2,1	0,5	0,5	0,33	0,01BN 0,5Cu 0,02AlN	Пд 1,0; Гр3, Гр7, Гф2, Г10, /гр. 70–300 мкм	188–235	261–287
Профиль диаметром 100 мм, (НГЛИТ-процесс)	3,4	2,5	0,5	0,47	0,41	0,01BN 0,5Cu 0,02IN	Пд 0,3; Пд 0,5 Гр2, Гр3, Г10, Гф 2, Г 10, /гр. 50– 300 мкм	235–269	321–343

В исследованных чугунах содержание никеля было снижено с 0,5–0,6% в соответствии с чертежами литых заготовок до уровня 0,33–0,4%, содержание фосфора не превышало 0,05%, а серы – 0,02%. При исследовании полученных отливок установлено повышение дисперсности литой структуры и размеров графитных включений при непрерывном литье и литье в кокиль в сравнении с отливками, полученными в песчано-глинистые формы.

При изготовлении профильных заготовок по НГЛИТ-процессу с дополнительным легированием стабилизирующими аустенит-добавками (0,9–1,5%Ni и 0,3–0,5%Mo) и модифицировании лигатурой ЖКМК-7 получены высокопрочные термоулучшаемые чугуны. В табл. 2 приведены свойства термоулучшаемых высокопрочных чугунов и их структура в отливках после различных видов обработки.

Таблица 2. Свойства термоулучшаемых высокопрочных чугунов и их структура после обработки

Структура и свойства	Графитизирующий отжиг	Изотермическая закалка	Нормализация с 870°C	Термоулучшение и рекристаллизация
Перлит, %	12–30	–	80–88	–
Аустенит, %	–	18–40	–	10–14
Бейнит, %	–	60–82	–	–
Феррит, %	70–88	–	12–20	86–90
σ _в , МПа	550–590	730–810	580–630	510–560
δ, %	9,7–12	7,8–9,1	3,2–5,7	8,1–9,6
НВ·10 ⁻¹ , МПа	165–187	290–320	220–265	176–190
KCU, Дж/см ²	15–27	12–18	8–16	21–32
E, ГПа	16,2–16,8	17,2–17,8	16,6–17,1	16,8–17,3

Увеличение количества бейнитной фазы в структуре аустенитных чугунов достигается при повышении дисперсности структуры литого металла и понижении температуры изотермической закалки. Содержание остаточного аустенита при термоулучшении и изотермической закалке можно изменять в широких пределах (от 5 до 40%).

Среди элементов химического состава C и Si определяют структуру низколегированного чугуна в отливках при заданном технологическом про-

цессе литья. Наряду с кремнием большое значение как графитизирующие элементы имеют алюминий и нитриды: AlN, BN, TiN, VN при их концентрации 0,01–0,3 мас.%. На рис. 2 показано влияние углерода и суммы Si+Me на прокаливаемость и обрабатываемость отливок в зависимости от способа литья. Качество термической обработки определяли на образцах-темплетах толщиной 12 мм, вырезанных из отливок посредством замера твердости закаленного слоя. Закалку проводили с использованием электронагрева.

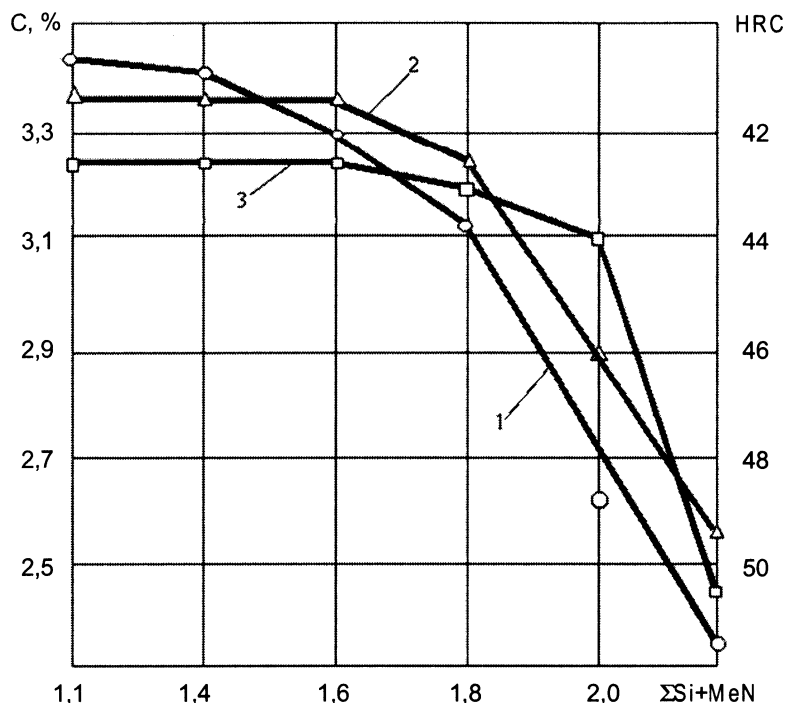


Рис. 2. Влияние углерода и кремния с нитридами на качество закалки литых заготовок: 1 – НГЛИТ-процесс; 2 – КЛИТ-процесс; 3 – литье в обычные песчано-глинистые формы

При освоении производства профильных заготовок из высокопрочных чугунов с ШГ ВГ на установках непрерывного горизонтального литья в кристаллизаторах с водяным охлаждением (НГЛИТ-процесс) эффективными легирующими добавками оказались Cu и Ni , особенно при изготовлении тонкостенных профильных заготовок из ВЧ50 и более высокопрочных чугунов. Такие профильные заготовки заменяют отливки из углеродистых сталей 20Л, 30Л и 35Л, низколегированных сталей типа 20ГЛ, 32Х06Л, 40ХЛ и ряда латуней.

Механические и эксплуатационные свойства высокопрочных чугунов с ШГ, легированных Cu и Ni , при литье в кокиль исследованы в работе [7], где описаны различия в микроструктуре и свойствах отливок при кокильном литье и литье в песчано-глинистые формы.

Испытания отливок из ВЧШГ, полученных по НГЛИТ-процессу, показали, что они также обладают более мелкозернистой микроструктурой

и повышенными механическими свойствами, чем при литье в песчано-глинистые формы.

Таким образом, при организации производства широкой и мелкосерийной номенклатуры литых заготовок из железоуглеродистых сплавов со специальными требованиями физико-механических свойств необходим комплексный подход к решению проблемы подготовки расплава, его внепечной обработки, выбору технологического процесса литья, а при наличии специальных служебных свойств – по геометрическим параметрам и размерной точности литых каналов отливок, не подвергающихся механической обработке, составам и физико-механическим свойствам песчаных стержней, а также термической обработки готовых литых заготовок. Такой подход позволит значительно улучшить эксплуатационные свойства готовых изделий с применением отливок из износостойких чугунов.

Литература

1. Карпенко М.И., Мельников А.П., Сайков М.А. Литейные сплавы и композиции для износостойких деталей и оснастки // Литейное производство. 2002. № 1. С. 5–6.
2. Карпов А.К., Карпенко М.И., Марукович Е.И., Мельников А.П. и др. // Бюл. изобр. 1989. № 23.
3. Жуков А.А. Аустемпированный чугун – несомненный успех литейного металловедения // Литейное производство. 1999. № 11. С. 39–40.
4. Хидашвили Н.З., Берадзе Г.В. Низкокремнистые бейнитные и мартенситные чугуны // Металлургия в машиностроении. 2002. № 6. С. 2–4.
5. Чугун. А.С. СССР № 1627582, кл. С22С 37/10. / Карпионов Л.А., Карпенко М.И., Марукович Е.И. и др., опубл. 1991, Бюлл. № 6.
6. Брикет для модифицирования чугуна. А.с. СССР: М.И. Карпенко.
7. Солнцев Л.А., Серховец С.И., Полякова Т.С. и др. Свойства магниевого легированного Cu и Ni чугуна, заливаемого в кокиль // Литейное производство. 1991. № 7. С. 18–19.