

9. Верховлюк А. М., Беспалый А. А. Влияние легирующих элементов на смачивание огнеупоров расплавами на основе циркония и алюминия // *Металлы*. – 2008. – № 3. – С. 11-17.
10. Keene B. J. Review of data for the surface tension of pure metals // *International Materials Reviews*. – 993. – Vol. 38, № 4. – P. 157-191.
11. Силаев А. Ф., Фишман Б. Д. Диспергирование жидких металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1983. – 144 с.
12. Petrow G., Effenberg G. Ternary alloys (aluminium-nickel-yttrium) // *ASM International. USA. MSI. VCH*. – 2005. – V. 8. – P. 58-61.

Поступила 29.07.2010

УДК 669.162.6

Б. Г. Гусейнов, М. Б. Бабанлы, Ф. С. Исмаилов

Азербайджанский технический университет, Баку

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА ВЗАМЕН ЧУГУНА «НИРЕЗИСТ»

Рассмотрена возможность применения синтетического чугуна взамен чугуна «нирезист» при изготовлении деталей погружных насосов для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин. Показано соответствие синтетического чугуна с высокой плотностью всем требованиям, предъявляемым к «нирезисту». Установлено, что срок службы изделий из синтетического чугуна больше, чем из «нирезиста». Результаты исследования внедрены в производство.

Ключевые слова: синтетический чугун, «нирезист», погружные насосы, пластовая жидкость.

Розглянуто можливість застосування синтетичного чавуну замість чавуну „нірезист” при виготовленні деталей занурених насосів для відкачування пластової рідини із нафтових свердловин. Показано відповідність синтетичного чавуну з високою густиною всім вимогам, які пред’являють до «нірезисту». Встановлено, що строк виробів з синтетичного чавуну більший, ніж «нірезиста». Результати дослідження впроваджено у виробництво.

Ключові слова: синтетичний чавун, чавун „нірезист”, занурені насоси, пластова рідина.

The possibilities of synthetic iron instead of cast iron “nirezist”, which is used for production in oil pumps for pumping out formation fluid from oil wells. It is noted that the synthetic iron with a high density corresponds to all the parameters of cast iron – “nirezist”. The service life of synthetic iron passes the original. Results of the study are introduced into production.

Keywords: synthetic iron, cast iron “nirezist”, oil pumps, formation fluid.

В литейном цехе Бакинского экспериментального производственного предприятия по производству и ремонту погружных насосов проведены научно-исследовательские работы с целью снижения себестоимости деталей типа «аппарат направляющий», используемых в насосах, предназначенных для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин.

Согласно существующей технологии, деталь «аппарат направляющий», предназначенная для работы в условиях абразивного износа в малоагрессивной среде, отли-

вається из специального чугуна, легированного никелем, называемого «нирезист», обработанного комплексным модификатором. Химический состав этого чугуна следующий, %: С – 3,6; Mn – 0,5; Si – 2,5; Cu – 5,0; Ni – 12,0; Cr – 0,8; Nb – 2,0; P ≤ 0,1; S ≤ 0,05. Микроструктура чугуна состоит из феррита, перлита, остаточного аустенита и пластинчатого графита. Твердость чугуна HB составляет 130-150; срок службы детали в зависимости от среды (смесь нефти, воды, нефтяного газа и песок) – от 27 до 150 суток. Применение дорогостоящего чугуна типа «нирезист» обусловлено необходимостью повышения коррозионной стойкости деталей и их износостойкости.

Разработанная технология [1] позволит, по мнению авторов, обеспечить требуемые свойства этих деталей при их отливке из высококачественного синтетического чугуна взамен «нирезиста». Технология гарантирует высокую плотность чугуна и структуру в виде дисперсного перлита и компактного изолированного графита. Как отмечается в работах [2, 3], чугун с такой структурой в малоагрессивных средах проявляет свойства, аналогичные применяемому «нирезисту».

Перлитная структура для данной номенклатуры деталей является более приемлемой, чем ферритная, так как в плотном перлитном чугуне (при отсутствии раковин, пор и включений) проникновение кислорода в глубь металла затрудняется. Поэтому применение более плотного синтетического чугуна взамен базового является актуальным.

Целью настоящей работы является исследование возможности замены дорогостоящего чугуна «нирезист» высококачественным синтетическим чугуном, полученным по разработанной технологии [4] с применением доступных заводу дешевых металлических отходов, с сохранением всех технологических и эксплуатационных свойств получаемых деталей.

Для достижения этой цели были:

- проведены опытно-промышленные плавки по ранее разработанной авторами технологии [4];

- определены химический состав полученных чугунов, а также прочностные свойства (σ_v , HB), плотность, износостойкость и срок службы готовых изделий.

Синтетический чугун выплавляли в индукционной печи ИСТ-0,16 и модифицировали ферросилицием ФС75, совместив при этом процессы модифицирования и доводки по кремнию. Особенность этого способа получения синтетического чугуна состоит в том, что плавка шихты проводится при содержании 50 % Si от марочного состава. После термовременной обработки осуществляется доводка чугуна по кремнию при температуре модифицирования, после чего металл подается на разливку [1, 5]. Отливки заливали в песчано-глинистые формы.

После термовременной обработки чугуна (при температуре 1714-1723 К) при сливе в ковш из печи под струю подавали ферросилиций ФС75. Температура чугуна при выпуске составляла 1653-1673 К по оптическому пирометру.

Химический состав чугуна «нирезист» и опытных чугунов приведены в табл. 1, а их механические свойства, плотность и конечная структура – в табл. 2.

Химический состав чугуна определяли с помощью спектрометра «ARUN Technology's Metalscan 2500», прочностные свойства – стандартными методами. Износостойкость измеряли на приборе для испытания на быстрый износ фирмы «НИППОН электрон Индастри», тип SL-06.

Плотность чугуна определяли по методу гидростатического взвешивания (точность измерения составляла 0,03 г/см³) и на установке «Параболоид-3» с использованием проникающего гамма-излучения.

Микроструктуру изучали до и после травления на микроскопе МИМ-7 и на растровом электронном микроскопе. Анализ результатов исследований показывает, что чугуны опытных плавки получают с твердостью HB 150-250, при этом обладают

Таблица 1. Химический состав «нирезиста» и синтетических чугунов опытных плавков

Вид чугуна	Номер плавки	Химический состав чугуна, %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti
«Нирезист»		3,6	2,5	0,5	≤ 0,1	≤ 0,05	0,8	12	5,0	0,1
Синтетический	1	3,01	2,53	0,24	0,02	0,02	0,1	0,5	0,25	0,08
	2	3,43	2,66	0,42	0,03	0,02	0,11	-	0,25	0,72
	3	3,21	2,48	0,54	0,01	0,02	0,16	0,77	0,18	0,07
	4	3,03	2,17	0,15	0,025	0,045	0,008	0,47	0,15	0,06
	5	3,47	2,35	0,21	0,007	0,005	0,05	0,43	0,2	0,06
	6	3,2	2,5	0,3	0,01	0,02	0,16	0,7	0,7	-

Таблица 2. Механические свойства, плотность и конечная структура чугунов

Вид чугуна	Номер плавки	Предел прочности σ_b , МПа	Твердость, НВ	Плотность, г/см ²	Относительный износ, г	Микроструктура
«Нирезист»	1	300	120	7,3	0,016	Ф + П + А + зернистый графит
Синтетический	1	400	260	7,37	0,004	$P_d \leq 0,2$, графит пластинчатый
	2	250	180	7,22	0,014	$P_d \leq 0,6$, графит пластинчатый
	3	300	210	7,31	0,011	феррит + $P_d \leq 0,5$, графит пластинчатый
	4	220	150	7,15	0,017	Ф+П+Гр
	5	220	150	7,11	0,018	Ф+П+Гр
	6	300	210	7,32	0,012	Ф+П+Гр

достаточно хорошей обрабатываемостью и не нуждаются в отжиге. Исключением является плавка 3, где содержание марганца 0,54 % приводит к ухудшению обрабатываемости за счет легирования феррита.

Предел прочности при растяжении увеличился от 300 до 400 МПа, что объясняется повышением дисперсности перлита в структуре, уменьшением размеров графитовых включений и их компактностью. Наилучшие результаты получены у чугунов плавков 1 и 6.

Поздний ввод кремния, совмещающий доводку чугуна по кремнию и модифицирование, привел к разрушению в расплаве таких связей, как Fe-C-Si и образованию связей типа Fe-Si и C-C [1, 4]. В результате в расплаве увеличивалось количество центров кристаллизации, которое привело к измельчению обедненных углеродом аустенитных зерен и компонентов эвтектики. А при распаде аустенита получились дисперсный перлит и компактный изолированный графит, в результате чего увеличилась плотность чугуна до 7,35 г/см³. Необходимо отметить, что живучесть этих бинарных связей ограничивается 15 минутами, после чего за счет диффузии углерода вновь образуется связь Fe-C-Si. Поэтому разлить металл в формы необходимо не позже, чем через 15 мин после ввода кремния.

Как отмечается в работе [5], на плотность чугуна также влияют отношение содержания кремния к содержанию углерода и эвтектичность чугуна. Установили, что для получения чугуна с высокими качественными показателями необходимо соотношение количества кремния в шихте к количеству кремния в присадке принимать в пределах 0,8-1,2, эвтектичность чугуна должна быть 0,74-0,8 и отношение кремния к углероду – на уровне 0,6-0,7 (рис. 1).

Поздний ввод кремния в расплав чугуна изменяет и температуру кристаллизации

эвтектики. Структура и свойства чугуна во многом зависят от температуры кристаллизации, при которой происходят превращения. На превращение влияют многие факторы, в том числе состав шихты, температура термовременной обработки, количество модификатора, скорость охлаждения и др. Эти факторы в конечном итоге изменяют плотность чугуна при температуре кристаллизации.

Установили, что плавка чугуна на шихте с минимальным содержанием кремния и доводка при температуре модифицирования приводят к увеличению температуры кристаллизации по сравнению с чугуном, выплавленным из шихты, содержащей 2,25 % (рис. 2).

Как следует из этого графика, чем больше значение плотности расплава, тем выше начальная температура кристаллизации [6].

Отметили, что такой способ плавки чугуна приводит к уменьшению интервала кристаллизации эвтектики и эвтектоидного превращения. С повышением содержания кремния в шихте и с уменьшением, соответственно, количества присаживаемого ФС 75 расширяется интервал кристаллизации эвтектоидной перекристаллизации, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению плотности при 293 К.

На рис. 3 приведена микроструктура опытного чугуна.

Анализ микроструктуры чугуна опытной плавки № 1 показывает, что графит компактный – $\Gamma_{\phi}2$, при длине менее 25 мкм – $\Gamma_{д}2$, а распределение соответствует изолированным. Металлическая основа состоит из дисперсного перлита $\Pi_{д} \leq 0,2$.

Плотность чугуна плавки № 1 в результате получения компактного графита и дисперсного перлита увеличилась до 7,37 г/см³, что привело к снижению величины относительного износа до 0,04 г, то есть почти в 3 раза.

Таким образом, анализ результатов опытных плавки показал, что при выплавке чугуна (согласно предложенной авторами технологии) можно получить чугун с микроструктурой, обеспечивающей достаточную износостойкость.

Стендовые и промышленные испытания показали, что показатели срока службы

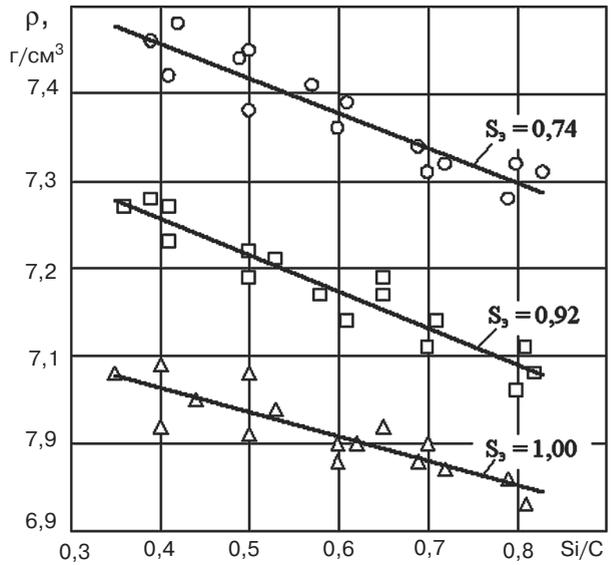


Рис. 1. Зависимость плотности чугуна от эвтектичности и отношения Si/C

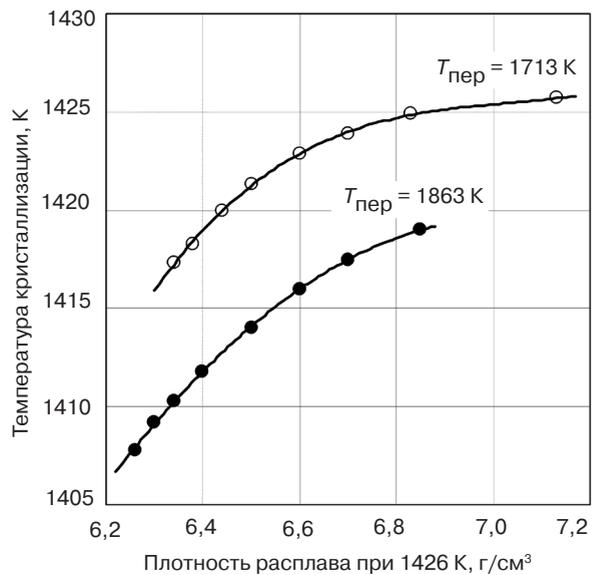


Рис. 2. Изменение начальной температуры кристаллизации различно перегретых чугунов в зависимости от плотности расплава

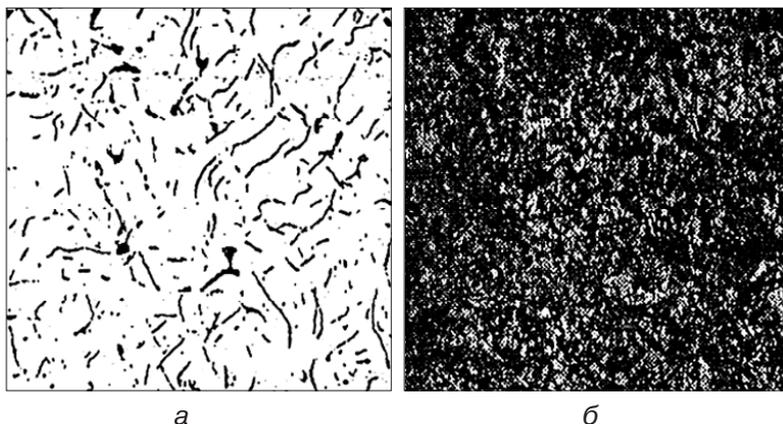


Рис. 3. Микроструктура опытного чугуна: а – нетравленная; б – травленная, $\times 150$

опытных деталей во всех случаях превышают аналогичные показатели деталей из «нирезиста».

Разработанная технология получения деталей погружных насосов из синтетического чугуна взамен «нирезиста» внедрена в производство, ожидаемый экономический эффект при выпуске 250 000 шт отливок в год составляет 2 млн. AZN (более 2,5 млн. \$ USA).



Список литературы

1. Гусейнов Б. Г. Влияние параметров контролируемой плавки на плотность жидкого и твердого синтетического чугуна. – Баку: АзТУ, 2005. – С. 5-8.
2. А.с. 1497286 СССР. Способ получения серого чугуна / Б. Г. Гусейнов, Н. Н. Александров, Н. К. Бложко и др. – Опубл. 30.07.89. Бюл., № 28.
3. Шумихин В. С. Синтетический чугун. – Киев.: Наук. думка, 1971. – 167 с.
4. Высококачественные чугуны для отливок / Под ред. Н. Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
5. Гусейнов Б. Г. Влияния отношения кремния к углероду на свойства синтетического чугуна. – Баку: АзТУ, 1989. – С. 6-9.
6. Гусейнов Б. Г. Влияние плотности расплава чугуна на температуру кристаллизации // Информ. листок ПМБ АзНИИНТИ. – Баку, 1994. – № 37. – № 1.
7. Гусейнов Б. Г. Разработка рационального состава коррозионностойкого синтетического чугуна, применяемого в малоагрессивных средах. – Баку: Техника, 2000. – № 1. – 6 с.
8. Клинов И. Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. – М.: Машиностроение, 1987. – 468 с.

Поступила 10.02.2011