

Министерство образования Украины  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 669.131.7:621.78:620.193

ГАСАНЛИ РАМИЗ КАМАНДАР оглы

РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ЛЕГИРОВАННОГО  
ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ  
ЗАПОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Специальность 05.02.01 - Материаловедение в  
машиностроении (промышленность)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических  
наук

Харьков - 1994

AB 30.717

Работа выполнена в Харьковском государственном  
автомобильно-дорожном техническом университете.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор СОЛНЦЕВ Л.А.

Официальные оппоненты- доктор технических наук,  
профессор ГОРУШКИНА Л.П.

кандидат технических наук  
ЗАБОТИНСКИЙ Н.П.

Ведущее предприятие - ПО завод "Серп и Молот"

Защита состоится "6" октября 1997 г. в 19<sup>00</sup> ч.

на заседании специализированного совета К 02.17.01 при  
Харьковском государственном автомобильно-дорожном техническом  
университете по адресу:

310078, г. Харьков, ул.Петровского, 25, ХГАДТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ХГАДТУ.

Автореферат разослан "26" августа 1997 г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат технических наук,

А.В.КОСМИН

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00756597 (\$)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Вопросы повышения надежности и долговечности нефтепромышленного оборудования, в том числе запорных устройств, приобретают особую важность и актуальность в связи с острым дефицитом и необходимостью экономии энергетических ресурсов и материалов. Для новых месторождений нефти и газа требуются материалы, обладающие более высокими механическими и эксплуатационными характеристиками, чем применяемые. Здесь запорные устройства работают в сложных условиях воздействия потока нефти и газа, пластовой воды, слабых растворов кислот и сероводорода.

Детали, работающие в таких агрессивных средах, изготавливаются из легированных сталей, обладающих относительно низкими литейными и другими технологическими свойствами, что повышает стоимость оборудования, усложняет процесс изготовления деталей.

Перевод наиболее ответственных деталей запорных устройств, в первую очередь, корпуса, шибера, седла на изготовление из других материалов должен обеспечить выполнение необходимых требований к деталям при одновременном снижении себестоимости их изготовления. В качестве одного из таких материалов может быть использован экономнолегированный высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), отливаемый в кокиль. Однако возникает проблема, в каких условиях и когда можно использовать этот чугун, тем более, что легирование ВЧШГ желательнее осуществлять минимальным количеством легирующих добавок.

Исходя из вышеизложенного, повышение надежности и снижение стоимости запорного устройства за счет изготовления его деталей из легированного кокильного ВЧШГ является весьма актуальной проблемой.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка состава, технологии получения и термической обработки экономнолегированного высокопрочного чугуна для наиболее нагруженных деталей нефтепромысловых и трубопроводных задвижек.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

1. Подбор легирующих элементов и определение оптимальной комплексной легирующей добавки для получения требуемых свойств чугуна.
2. Разработка способов воздействия на структурообразование и свойства высокопрочного чугуна выбранного состава.
3. Изучение закономерностей влияния различных факторов (легирования, скорости охлаждения, вида термической обработки) на

строение и свойства высокопрочного чугуна, отливаемого в кокиль.

4. Разработка регламента технологического процесса изготовления деталей для запорных устройств, работающих в условиях воздействия  $H_2S$  и  $CO_2$ ; проведение опитно-промышленных испытаний запорных устройств с деталями из экономнолегированного высокопрочного чугуна и внедрение их в производство.

Научная новизна. Показана возможность использования экономнолегированного кокильного высокопрочного чугуна, работающего в условиях воздействия различных агрессивных сред, в том числе с повышенным содержанием  $H_2S$ .

Уточнены представления о формировании структуры металлической основы ВЧШГ и влияния на него легирующих элементов при литье в кокиль и после термической обработки.

Установлено, что бейнитная структура металлической матрицы в легированном ВЧШГ, отлитом в кокиль, может быть получена с помощью непрерывного охлаждения, что позволяет отказаться для этих целей от малотехнологичной изотермической закалки.

Практическая ценность и реализация работы. Доказана техническая и экономическая целесообразность применения легированного кокильного ВЧШГ для изготовления ответственных деталей запорных устройств. Разработаны эффективные пути управления структурой чугуна с помощью экономного комплексного легирования и термической обработки. Разработана схема промышленной технологии получения деталей задвижек - корпуса, шибера, седла, обеспечивающая получение требуемых свойств.

Результаты работы внедрены на Бакинском машиностроительном заводе нефтепромыслового оборудования и на Каширском заводе "Центролит".

Подтвержденный экономический эффект от внедрения в производство результатов работы составил по ценам на 01.01.92г. 1436040 руб.

Автор защищает доказанную возможность использования экономнолегированного кокильного ВЧШГ взамен дорогостоящих сталей, как перспективного материала ответственных деталей запорных устройств, работающих в агрессивных средах;

- выявленные зависимости влияния легирующих добавок и различных факторов на технологические, механические и эксплуатационные характеристики кокильного ВЧШГ;

- выявленные особенности формирования микроструктуры легированного ВЧШГ, отлитого в кокиль, в литом состоянии и после термической

обработки;

- уточненные представления о коррозии, изнашивании, росте и хладостойкости кокильного ЧШГ;

- технологию получения ответственных деталей запорных устройств из легированного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на научно-технических советах концерна "Азнефтемаш" (1990, 1991, 1992 гг.), семинарах в Харьковском государственном автомобильно-дорожном техническом университете, Азербайджанской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии в повышении эксплуатационной надежности машин и инструментов" (г. Баку, 1991 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения качества и надежности литейного производства" (г. Волгоград, 1991 г.), международной научно-технической конференции "Антифрикционные и износостойкие чугуны" (г. Винница, 1992 г.), Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (г. Баку, 1993 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 10 статьях.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, общих выводов и рекомендаций, изложена на 216 с. машинописного текста, содержит 28 таблиц, 69 рисунков, 4 приложения. Список использованных источников включает 121 название.

#### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Запорные устройства (завдвижки) применяются в нефтепромышленном эксплуатационном оборудовании на месторождениях нефти и газа, зачастую содержащих повышенное количество коррозионноактивных элементов: сероводорода и углекислого газа (до 6 %). Температурный диапазон эксплуатации составляет от -60 до +450 °С.

В настоящее время при производстве завдвижек используются прокат и трубы из сталей, обладающих относительно низкими литейными свойствами, имеющих высокие стоимость и трудоемкость при изготовлении из них деталей.

Корпус завдвижки изготавливается из стали 40, он изнутри испытывает равномерно распределенную нагрузку от давления среды. Наружные поверхности уплотнительных канавок воспринимают нагрузку от этого давления, передаваемую через металлическую прокладку одностороннего касания. При наличии потока рабочей среды его пульсация передается корпусу. Поверхности проходных каналов корпуса подвержены окислительному изнашиванию. С целью повышения

коррозионной стойкости внутренняя полость корпуса заплняется защитным материалом.

Седло изготавливается из сталей 40X и 20X13 с индукционной закалкой на твердость, соответственно 46,5-51,5 HRC<sub>3</sub> и 42-46,5 HRC<sub>3</sub>. Помимо высокой себестоимости эти материалы не обладают необходимыми антифрикционными свойствами при работе в паре с шибером из тех же сталей.

Перевод изготовления наиболее ответственных деталей запорных устройств на более экономичный и технологичный материал, обеспечивающий выполнение необходимых требований при одновременном снижении себестоимости их изготовления, является весьма актуальной проблемой.

Исходя из конкретных условий эксплуатации, могут быть сформулированы предельные требования к материалу деталей задвижек:

1. Предел прочности не ниже 500 МПа.
2. Длительная прочность, исходя из срока службы задвижки II лет, не ниже 150 МПа при 450 °С.
3. Максимальная ростоустойчивость и коррозионная стойкость.
4. Износостойкость по уплотнительным плоскостям при коэффициенте трения не выше 0,12; задиростойкость при контактных нагрузках до 1000 МПа и скорости относительного перемещения 0,004 мм/с.
5. Ударная вязкость при нормальной температуре не ниже 90 Дж/см<sup>2</sup>; при -60 °С - не менее 30 Дж/см<sup>2</sup>.

Такие требования способны удовлетворить высокопрочный экономнолегированный чугун с шаровидным графитом. Однако в настоящее время нет достаточного количества данных, которые могли бы позволить рекомендовать конкретный состав ВЧШГ для указанных целей.

Кокильный ВЧШГ сочетает необычным образом два фактора: по-первых, он представляет собой сплав с достаточно высоким содержанием кремния и наличием Mg - содержащих добавок. В то же время по сравнению с ВЧШГ, отлитым в песчаную форму, кокильный ВЧШГ кристаллизуется, как правило, с различной степенью отбела. Он имеет структуру, сходную с белыми чугунами, отличаясь от них химическим составом (отсутствием стабилизирующих цементит добавок).

Модифицирование магнием приводит не только к изменению формы графитных включений, что само по себе важно, но и к активной дегазации и десульфурации металла.

В соответствии с изменением концентрации в расплаве углерода и технологических факторов, должно наблюдаться изменение характера кристаллизации чугуна и формирующихся в нем структур, что в настоящее время изучено недостаточно.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения влияния способа получения отливок на строение чугуна проводили металлографический анализ, в том числе электронномикроскопические исследования.

Для оценки ликвации кремния в легированных чугунах использовали метод цветного травления щелочным раствором пикрата натрия и локальный рентгеноспектральный анализ. Количественную оценку основных структурных составляющих производили с использованием соответствующих шкал ГОСТ 3443-87.

Количество остаточного аустенита после термической обработки определяли с помощью количественного рентгеновского фазового анализа методом гомологических пар, рентгенограммы получали на дифрактометре ДРОН-2 в излучении  $FeK_{\alpha}$  и  $SiK_{\alpha}$ .

Испытания механических свойств согласно ГОСТ 7293-85 проводили на образцах, отливавшихся в кокиль совместно с деталями. Испытания на растяжения проводили по ГОСТ 1497-84 на образцах диаметром 14 мм с расчетной длиной 70 мм. Ударную вязкость определяли на образцах без надреза согласно ГОСТ 9454-78 при температурах от 20 °С до 60 °С. Твердость чугунов измеряли согласно ГОСТ 24805-81. Микротвердость различных фаз и структурных составляющих - в соответствии с ГОСТ 9450-76 на микротвердомере ПМТ-3.

Так как замене подвергалась не вся пара трения, а материал лишь одной из деталей, сопоставляли износостойкость старого и нового материала в паре с одним и тем же контртелом на машине Шкода-Саввина. Частоту вращения регулировали в пределах 100-200 мин. Удельное давление было определено равным 100 МПа, что соответствовало его величине, возникающей на резьбовых поверхностях при трении гайки ходовой о шпиндель задвижки. Максимальная скорость взаимного перемещения деталей узла затвора составляет 50 мм/с, поэтому для имитации условий эксплуатации в испытаниях была принята такой же. Для исследования взаимодействия трущихся поверхностей, работающих в режиме возвратно-поступательного движения деталей, при возможном образовании задиров в процессе изнашивания (пара шибер - седло) использовалась специальная разработанная

лабораторная установка. Это обеспечивало имитацию взаимодействия поверхностей в реальных условиях. Установка позволяет проводить испытания при контактных давлениях до 210 МПа, скорости относительного перемещения образцов от 0,01 до 0,1 м/с, длине хода скольжения 50-150 мм в среде нефти, пластовой воды и уплотнительной смазки.

В процессе испытаний измеряли силу трения. Испытания проводили по методике постепенного возрастания нагрузки. Задиростойкость материалов оценивали критическим контактным давлением, предшествующим резкому увеличению коэффициента трения.

Одной из важных задач являлось установление пригодности ВЧШГ для работы в условиях действия агрессивных сред. Для этого проводили испытания чугуна в различных напряженных состояниях в пластовой и морской воде, характеризующих условия эксплуатации оборудования. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9506-87. Оценку коррозионной стойкости материалов производили согласно ГОСТ 9.908-85. Испытания вели в специально спроектированной и изготовленной установке, в различных активноперемешиваемых средах при комнатной и повышенной температурах. Температуру испытательной среды автоматически регулировали.

Для проведения испытаний легированного ВЧШГ в среде перегретого пара, который является рабочей средой для целого ряда трубопроводной арматуры общепромышленного назначения, было сконструировано специальное приспособление, устанавливаемое на линию перегретого пара. На этом приспособлении также производили испытание в среде с содержанием до 6 % сероводорода.

Необходимость проведения испытаний легированного ВЧШГ на ростоустойчивость обусловлена тем, что изготовленные из него детали могут работать при температуре до 500 °С. Использованный метод исследований основан на применении штифтов из нержавеющей стали, ввернутых в торцы цилиндрических образцов. Точность измерений составляла 0,05 мм.

Для уменьшения количества проводимых исследований, упрощения и сокращения продолжительности их проведения, получения большего объема информации, а также для обработки полученных результатов в работе применяли метод математического планирования эксперимента. Обработку результатов испытаний проводили по разработанной программе на ЭВМ ЕС 1036.

### ВЫБОР ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПРОВЕДЕНИЕ ПЛАВОК ЧУГУНА

Выбор легирующих элементов для чугуна, отливаемого в кокиль, ограничен, так как невозможно использовать карбидообразующие элементы из-за увеличения времени графитообразующего отжига. Из элементов, упрочняющих феррит и перлитизирующих металлическую матрицу чугуна, наиболее доступны медь, в количестве не более 0,8 % и никель - до 2,0 %.

Содержание кремния необходимо ограничивать из-за возможного охрупчивания чугуна при пониженных температурах. С другой стороны, кремний способствует повышению коррозионной стойкости, сокращает время графитизации, улучшает литейные свойства чугуна. Исходя из этих особенностей, было решено поддерживать его количество в пределах 2,6-3 %. Для исключения возможности образования карбидов, затрудняющих процесс отжига, содержание марганца ограничивалось пределами 0,4-0,5 %.

Химический состав опытных плавок чугуна соответствовал данным табл. I.

Таблица I.

Химический состав чугунов некоторых опытных плавок

Содержание элементов, % масс							
C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Mg
3,33	0,45	2,85	0,020	0,068	-	-	0,07
3,43	0,40	2,90	0,011	0,069	1,00	-	0,06
3,34	0,49	2,85	0,008	0,070	1,51	-	0,07
3,70	0,52	2,80	0,015	0,088	2,01	-	0,07
3,23	0,45	3,02	0,012	0,070	1,02	0,51	0,05
3,21	0,46	2,90	0,018	0,098	1,50	0,51	0,07
3,16	0,48	3,01	0,013	0,061	1,51	0,80	0,08

При выборе способа ввода модификатора для литья деталей ответственного назначения запорных устройств, исходили из необходимости получения металла без излишнего засорения неметаллическими включениями, ухудшающими свойства чугуна, возможности использования дешевого и недефицитного модификатора и получения однородного строения чугуна в литом состоянии. Учитывая все это, был выбран сэндвич-процесс. Использовалась сравнительно дешевая легатура типа ФСмг-5 по ТУ 14-5-134-86, содержащая до 7 % Mg, до 60 % Si и

до 1 % РЗМ. Плавки велись на единой шихте для получения отливок различного развеса и назначения, а необходимые механические и эксплуатационные свойства отливок достигались в результате термической обработки по различным режимам. В качестве шихтовых материалов использовали литейный чугун марки Л-3, группы 2, класса А (ГОСТ 4832-80), содержащий до 3,90 % С, 2,4 % Si. Для регулирования содержания кремния и углерода применяли ферросилиций марки ФС-25 (ГОСТ 1415-78). В лабораторных условиях чугун плавил в индукционной печи МПТ-52А (ИСТ-0,06) емкостью 60 кг, производственные плавки вели в индукционной печи МПТ-102А (ИСТ-0,16) емкостью 160 кг с основной футеровкой. Легирующие элементы в виде никеля гранулированного Н-3 (ГОСТ 849-70) и меди катодной МК (ГОСТ 859-78) вводили в печь вместе с шихтой. Учитывая необходимость легирования, температуру перегрева выдерживали на уровне 1420-1460 °С, температуру заливки - на уровне 1350-1400 °С.

Анализ ВЧШГ в литом состоянии показал, что чугун, модифицированный лигатурой ФСМг-5 и отлитый в кокиль, приобретает структуру белого чугуна, состоящую из перлита и ледебурита. Никель и медь в количествах, соответственно 1,0-2,0 % и 0,5-0,8 % не оказывают значительного влияния на отбел при кристаллизации кокильного ВЧШГ. Количество эвтектического цементита в сплаве в большей степени определялось толщиной стенки отливки в пределах до 20-25 мм. Учитывая слабое влияние графитизации на кинетику 1-2 % Ni и 0,8 % Cu, режим ферритизирующего отжига для сериито выплавляемого нелегированного ВЧШГ был оставлен и для отжига экзотомлегируемого чугуна, отличаясь лишь несколько более низкой температурой нагрева, так как Ni и Cu понижают точки  $A_{I}^N$  и  $A_{I}^R$ . Выдержка отливок при температуре 900 °С составляла 3-5 часов.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИКЕЛЯ И МЕДИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В КОКИЛЬНОМ ЧУГУНЕ

Поскольку ВЧШГ в сильной степени подвержен ликвации, её учет имеет особо важное значение для деталей, работающих при отрицательных температурах, когда предъявляются повышенные требования к пластичности и ударной вязкости.

Содержание кремния существенно сказывается на его микрораспределении, распределение Si зависит и от легирования чугуна Ni и Cu. Вопрос этот важен и в связи со способностью Si и других элементов оказывать влияние на кинетику и механизм графитизации чугуна при отжиге, что скажется на свойствах сплава.

Изучение микроликвации кремния в кокильном ВЧШГ показало, что имеется существенное ее отличие от ВЧШГ, отливаемого в песчано-глинистую форму. В никелевых чугунах наблюдается неоднородное распределение кремния. Размер областей, чередующихся по концентрации  $Si$  уменьшается с ростом содержания никеля в сплаве, а контраст усиливается. Такая неоднородность, однако, не вызывает ухудшения свойств, что можно было бы ожидать в соответствии с существующими воззрениями на влияние микроликвации кремния на ударную вязкость при пониженной температуре.

В тонкостенных отливках со значительным отбелом высококремнистые области формируются вокруг эвтектического цементита и между эвтектическими колониями. В этих областях возможно образование силикокарбидов. В кокильном чугуне с частичным отбелом наиболее обогащенными кремнием являются эвтектические границы зерен, участки между пластинами ледобурита. Вокруг графита содержание кремния понижено. При литье в песчаные формы именно здесь наблюдается наиболее высокая концентрация этого элемента.

Мель и никель в области температур кристаллизации повышают активность углерода и поэтому являются конкурентами последнего в кристаллической решетке железа. Исследование показало, что распределение кремния в никель-медистых чугунах, отлитых в кокиль, близко к равновесному. Лишь небольшие области по границам аустенитного зерна имеют пониженное содержание кремния.

Отжиг приводит к весьма своеобразной картине микрораспределения кремния. Наблюдается четкое чередование областей, обогащенных и обедненных кремнием, первые из которых располагаются вокруг графитных включений, вторые - в местах, где до отжига был цементит. Взаимное расположение, конфигурация и размер обедненных кремнием областей совпадают с расположением и формой цементитных пластин либо ледобуритных колоний. Во время отжига происходит перераспределение кремния и более обогащенными оказываются области, примыкающие к графиту. Однако очевидно, что указанное перераспределение происходит только в пределах бывших перлитно-ферритных (аустенитных при кристаллизации) областей. В местах расположения эвтектического цементита содержание кремния остается пониженным и после аустенитизации под нормализацией.

При кристаллизации, по-видимому, возникает устойчивая химическая поляризация, вызванная различием сродством элементов к углероду. Карбидообразующие элементы сосредотачиваются при кристаллизации в цементите, способствующие графитизации  $Si, Ni, Cu$

и др.) - в аустените. Такая поляризация очень устойчива.

Изложенное позволяет высказать концепцию относительно влияния микронеоднородности химического состава на свойства чугуна. Общепринято мнение, что ликвация нежелательна, так как снижает пластичность материала. Однако даже после отжига достичь полной однородности по химическому составу не удается. Поэтому, на наш взгляд, следует стремиться к созданию такой структуры чугуна, в которой однородные по химическому составу микрообласти были бы максимально мелкими, а хрупкие и пластичные зоны рационально сочетались, образуя гетерогенную структуру. Именно это наблюдается для кокильных магниевых чугунов, подвергнутых отжигу, что способствует повышению их свойств по сравнению с получаемыми литьем в песчаную форму.

В свете вышесказанного, исследуемый чугун можно рассматривать как естественный композиционный материал, имеющий гетерогенную структуру с перекрестным армированием, состоящий из чередующихся высококремнистых областей, обладающих высокой твердостью и хрупкостью, и почти бескремнистых, более пластичных участков, содержащих Mn.

#### ПОЛУЧЕНИЕ БЕЙНИТНОЙ СТРУКТУРЫ В ЧГУНЕ

Согласно серийной технологии деталь - шибер, изготавливаемая из сталей 40X или 20X13, должна подвергаться объемной закалке, либо нормализации с последующим азотированием для обеспечения высокой прочности и износостойкости. Подвергать детали из чугуна объемной закалке опасно из-за возможности появления трещин. Азотирование проводить нецелесообразно из-за значительной длительности процесса и хрупкости образующегося слоя.

Обеспечить высокую износостойкость деталей из легированного чугуна можно, получив в нем бейнитную структуру с помощью изотермической обработки или иным способом. Такой обработке подвергали легированный и, для сравнения, нелегированный высокопрочный чугун отлитый в кокиль.

Для кокильных чугунов, особенно легированных, представляется возможным получение бейнитной металлической основы при непрерывном охлаждении. Для исследования был принят следующий режим термической обработки с непрерывным охлаждением: нагрев до 870-935 °C, выдержка 30-40 мин., охлаждение с обдувом. После закалки проводится отпуск в течение 3 часов при температуре 200, 300 и 400 °C.

Проводили сопоставление со свойствами сплавов того же состава

но отлитых в песчаную форму. Эксперименты проводили на чугунах, легированных комплексной Ni - Si добавкой, либо Ni .

Влияние размера сечения исследовалось на образцах диаметром 10 и 20 мм. Как показало исследование, в сечении 20 мм и более возможно получение бейнитной структуры только в условиях охлаждения под вентилятором. В чугунах, содержащих 1,5 % Ni и 0,5 % Si в лабораторных условиях, как правило, образуется игольчатый нижний бейнит. На спокойном воздухе в этих сплавах формируется перлит-бейнитная структура.

В чугуне, легированном 2 % никеля после обработки с ускоренным охлаждением на воздухе образуется преимущественно бейнит. Уменьшение содержания Ni до 1,5 % приводит к тому, что в таком чугуне даже в лабораторных условиях практически не удается получить полностью бейнитную структуру. Образуется смесь перлита с небольшим количеством бейнита. При еще более низком легировании (1 % Ni) характерно наличие феррита по границам вторичных зерен. Матрица в основном перлитная, иногда с незначительными по величине участками верхнего бейнита. Важно знать количество остаточного аустенита в связи с возможностью использования чугуна при отрицательных температурах.

Известно, что в бейнитном превращении, в первую очередь, образуются и растут иглы феррита. Бейнитный феррит пересыщен углеродом, поэтому в дальнейшем может происходить выделение из него карбидов. Оставшийся аустенит обогащается углеродом и стабилизируется. Итоговое соотношение фаз и стабилизация процесса контролируются диффузионными процессами и зависят как от температуры, так и от степени легирования. На этом процесс может закончиться, но может также происходить распад аустенита на дисперсный эвтектоид по схеме:  $\gamma \rightarrow \Phi + \text{СК}$  (силикокарбид). Если распад аустенита успевает происходить в верхнем интервале бейнитного превращения - образуется дисперсная феррито-карбидная смесь. Наконец, остаточный межзеренный аустенит, не успевший претерпеть феррито-карбидный распад может превратиться в мартенсит. Появление вместо аустенита феррито-карбидной смеси либо мартенсита снижает вязкость и пластичность чугуна.

При изотермической закалке количество аустенита при комнатной температуре можно регулировать изменением длительности выдержки в ванне, что невозможно при получении бейнитного чугуна с непрерывного охлаждения. В этом случае в качестве регуляторов могут быть температура и выдержка при аустенитизации, состав легирования

и, конечно, скорость охлаждения.

Результаты исследования показали, что количество остаточного аустенита возрастает с повышением температуры аустенитизации. Установлено, что в кокильных чугунах превращение происходит с образованием меньшего количества остаточного аустенита. Этот эффект связан с меньшей микролигацией химических элементов, в первую очередь, кремния. Существует мнение, что оптимальное количество аустенита, оцененное по механическим свойствам, должно быть около 20 %.

Проведенное исследование показало, что в бейнитных кокильных чугунах количество аустенита оставляет 3-8 % при перлитобейнитной матрице и 12-14 % при полностью бейнитной структуре металлической основы. Это существенно ниже, чем в традиционно-отливаемых чугунах, что может объясняться более равномерным микрораспределением элементов в кокильном чугуне, а также использованием в опытах сплавов с исходной ферритной металлической основой.

Анализ содержания аустенита в этих чугунах после обработки холодом показал, что аустенит в никелевом (2 % Ni) чугуне сохранился. В никель-медистом сплаве после обработки холодом были обнаружены только следы аустенита (2-3 %).

Как показывают исследования, отпуск при 200 °C способствует повышению ударной вязкости без видимых изменений в структуре. Отпуск при 300 °C снижает ударную вязкость всех исследованных чугунов, существенно не влияя на износостойкость. Отпуск при температуре 400 °C способствует выделению мелких карбидов, также не приводя к существенному повышению ударной вязкости как никелевых, так и никель-медистых чугунов, снижая при этом их износостойкость.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЧУГУНА

Термическая обработка повысила прочность всех чугунов (табл. 2). Эффективно сказалась термическая обработка на прочности слабелегированных чугунов, повысив одновременно и пластичность последних. Однако присутствие феррита в структурах этих сплавов, обуславливает их низкую износостойкость.

Добавление 0,5 % Sn к сплаву с 1 % Ni снизило ударную вязкость. Вероятно, медь в перлит-ферритных чугунах, как и в отожженных, отрицательно влияет на эту характеристику, что возможно, связано с наличием сегрегаций меди по границам зерен.

Таблица 2.

Свойства кокильных легированных чугунов после нормализации

Легированные чугуны	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	Кс, кДж/м <sup>2</sup>	Износ, мм $\cdot 10^{-3}$ %
Не легирован	799	888	4	70-150	286
1 % Ni	928	1023	5	315	336
1,5 % Ni	901	1018	7	150-210	93
2 % Ni	835	892	4	300-380	96
1 % Ni + 0,5 % Cu	830	885	7	75-90	315
1,5 % Ni + 0,5 % Cu	770	811	4	190-280	67
1,5 % Ni + 0,8 % Cu	762	808	4	130-210	102

Легированные сплавы с бейнитной и перлитно-бейнитной структурой обладают более высокими ударной вязкостью ( в 1,5-2 раза) и износостойкостью ( в 2-4 раза), чем все другие исследованные. Испытаниям на изнашивание подвергали образцы из поверхностно-закаленной стали 20Х13 и высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, прошедших различную обработку. В качестве контртела служила сталь 40Х, испытательные среды: воздух, вода, смазка марки ЦИАТИМ.

Как показывают результаты испытаний, лишь нелегированный чугун с перлитной основой уступает по износостойкости стали 20Х13. Износ легированных чугунов, имеющих перлитную, бейнито-мартенситную структуру металлической основы, при всех условиях испытаний был меньше, чем у стали, прошедшей поверхностную закалку ТВЧ.

Износостойкость ВЧШГ в воде выше, чем при сухом трении, что связано с образованием на поверхности трения оксидных пленок, состоящих преимущественно из  $Fe_3O_4$  и FeO, а в легированных, кроме этого, и из легированных оксидов. Поставленный опыт подтвердил, что легированные чугуны по износостойкости не уступают используемым сталям и выбранное направление исследований является перспективным.

Износостойкость нелегированного и легированного ВЧШГ существенно отличается друг от друга. Износ чугуна, имеющего от 1,0 до 1,5 % Ni заметно уменьшается при дальнейшем повышении содержания никеля до 2,0 % износ чугуна изменяется уже незначительно. При добавлении к никелю 0,5 % меди чугун приобретает наиболее высокую износостойкость по сравнению со всеми испытанными чугунами.

Как и следовало ожидать, при повышении контактных давлений, износостойкость чугуна ухудшается. Однако и в этих условиях чугун, легированный  $1,5\% \text{ Ni}$  и  $0,5\% \text{ Cu}$ , показывает достаточную износостойкость. Результаты испытаний подтверждают, что после изотермической закалки износостойкость и задиростойкость этого чугуна еще более повышаются.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают высокую износостойкость, задиростойкость, прочность и ударную вязкость бейнитного кокильного ВЧПГ, легированного  $1,5\% \text{ Ni}$  и  $0,5\% \text{ Cu}$ , что дает основание для его использования взамен сталей 40X и 20X13 для изготовления ответственных деталей запорных устройств.

Исследование на коррозионную стойкость проводили с целью изучения пригодности низколегированного чугуна выбранного состава для работы в условиях действия морской воды, перегретого пара, пресной проточной воды, пластовой воды, сероводородосодержащей среды, *NAGE* с ингибитором коррозии и без него. Максимальное время выдержки образцов в исследуемой среде составляло 720 ч. Испытания проводили в статических и динамических условиях.

Для получения наиболее достоверных сведений результаты экспериментов обрабатывали на ЭВМ. Выявленные корреляции дают возможность описать зависимости влияния химического состава чугуна на его коррозионную стойкость. Анализ полученных результатов свидетельствует о более высокой коррозионной стойкости ВЧПГ по сравнению со сталью 40X. Результаты исследований показывают, что коррозионная стойкость чугуна как в статических, так и в динамических условиях, с увеличением содержания никеля и меди повышается.

Наименьшая скорость коррозии наблюдается в чугунах, содержащих наибольшее количество легирующих элементов ( $2\% \text{ Ni}$  и  $0,6\% \text{ Cu}$ ). Однако ему мало уступает чугун, содержащий  $1,5\% \text{ Ni}$  и  $0,5\% \text{ Cu}$ . Коррозионная стойкость этого чугуна во всех агрессивных средах находится на требуемом уровне.

В результате проведенных испытаний установлено, что рост легированных чугунов, представленных для испытаний в отожженном состоянии, находится на уровне роста ферритного нелегированного чугуна и не превышает за 250 ч.  $0,01\%$  для отливок, полученных литьем в песчаную форму, и практически отсутствует для кокильных отливок. Это объясняется, главным образом, различием в форме графита, а также более плотной металлической основой кокильного ВЧПГ.

Из всех исследуемых чугунов самые высокие характеристики к росту демонстрировали образцы из ВЧШГ, легированного 1,0 % никеля. Этот чугун может быть использован для деталей, работающих при постоянно действующих и переменных нагрузках, но не подвергающихся трению и изнашиванию, в частности корпуса задвижки. Узким местом для чугунов вообще является ударная вязкость, а требования по ней особенно важны при работе деталей в условиях пониженных температур. Поэтому исследованию этого свойства было уделено большое внимание. При проведении обработки результатов эксперимента использовался регрессионный анализ. В качестве варьируемых параметров были выбраны факторы, существенно влияющие на хладостойкость материалов, температура эксплуатации и структура металлической основы (твердость).

Уровень хладостойкости экономнелегированного ВЧШГ, отливаемого в кокиль, гарантирует надежную его работу при различных климатических условиях, имеющих низкие температуры.

Анализ полученных результатов показывает, что металлическая основа чугуна является доминирующим фактором, определяющим величину ударной вязкости. При этом показатель ударной вязкости чугунов с ферритной основой выше, чем с феррито-перлитной и перлитной основами. Связано это с тем, что при разрушении в ферритной основе, имеющей значительный запас пластичности, происходит замедление скорости распространения трещины включениями графита.

Необходимо отметить, что ударная вязкость ВЧШГ, полученного литьем в кокиль, после одинаковой термической обработки выше, чем у чугуна, полученного литьем в песчаную форму. Наилучшие результаты получены при комплексном легировании медью и никелем.

#### ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты лабораторных исследований явились основанием для изготовления опытных партий ответственных деталей запорных устройств в заводских условиях.

Технологический процесс изготовления деталей соответствовал принятому при проведении лабораторных исследований.

Графитизирующий отжиг и нормализация деталей осуществлялась в газовых печах с выдвижным подом и автоматическим регулированием температуры рабочего пространства. Результаты исследования микроструктуры и механических свойств чугуна полностью совпали с результатами, полученными при проведении лабораторных и полупромышленных плавов.

Испытания образцов, вырезанных из деталей, не могут достаточно полно характеризовать поведение последних в реальных условиях работы. С этой целью для окончательного заключения о пригодности использования чугуна взамен стали для ответственных деталей запорных устройств проводили эксплуатационные испытания. Для охвата различных условий работы опытные задвижки были установлены на скважины различных климатических районов в среде, содержащей сероводород и углекислый газ (до 6%), нефть, перегретый пар, пластовую, морскую и техническую воду. Эксплуатационные испытания показали их высокую надежность в работе и подтвердили возможность замены деталей, изготовленных из стали, чугунами.

Экономический эффект от внедрения по ценам на ОI.ОI.82г. составил 1436040 рублей.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Показано, что для деталей запорных устройств необходим поиск материала, который отличается большей технологичностью и более высокими служебными свойствами чем применяемые материалы.
2. Исследование показало, что для таких целей может быть рекомендован экономнолегированный кокильный высокопрочный чугун с шаровидным графитом, содержащий 1,5% Ni и 0,5% Si.
3. Установлено, что в легированном кокильном чугуне наблюдается более равномерное микрораспределение кремния и других элементов по сравнению с нелегированным, чем объясняется получение более высоких эксплуатационных характеристик этого материала.
4. Для повышения свойств чугуна необходима термическая обработка, формирующая бейнитную или бейнито-перлитную структуру металлической матрицы.  
В связи с трудностью осуществления изотермической закалки, последняя может быть заменена обработкой с непрерывным охлаждением. Показано, что требуемая структура может быть получена в отливках из легированного ВЧШГ сечением около 20 мм при охлаждении в струе воздуха, при охлаждении на спокойном воздухе - в сечении около 10 мм.
5. Проведенные сравнительные коррозионные испытания показывают более высокую стойкость экономнолегированного ВЧШГ по сравнению со сталями, применяемыми в настоящее время для подобных целей. С увеличением продолжительности испытаний преимущества чугуна становятся более очевидными, что объясняется формированием графито-

оксидной пленки на поверхности последнего.

Ростоустойчивость и хладостойкость указанного материала также находится на требуемом уровне.

6. Экономнолегированный ВЧШГ, отливаемый в кокиль, при работе в контакте с агрессивными средами является более износостойким по сравнению с применяемыми материалами, в том числе сталью 20Х13 в паре трения со сталью 40Х, что может быть также объяснено влиянием на процесс изнашивания поверхностной графито-оксидной пленки.

7. Разработанная схема технологического процесса изготовления ответственных деталей из экономнолегированного кокильного ВЧШГ с использованием технологичных видов термической обработки позволяет обеспечить выпуск надежных запорных устройств для работы в различных климатических условиях. Эксплуатационные испытания свидетельствуют о преимуществах выбранного материала и технологии получения из него деталей запорных устройств.

8. Годовой экономический эффект от внедрения экономнолегированного кокильного ВЧШГ в качестве материала ответственных деталей запорных устройств только за счет замены материала по ценам на ОI.ОI.92г. составил I436040 руб.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Свойства магниевого легированного  $Si$  и  $Ni$  чугуна, отливаемого в кокиль /Л.А.Солнцев, С.И.Серховец, Т.С.Полякова, В.Д.Шифрин, Р.К.Гасанли//Литейное производство, 1991.-№7.-С.18-19.

2. Повышение с помощью легирующих добавок термической выносливости и ростоустойчивости высокопрочного чугуна /Р.К.Гасанли, А.С.Наджафов, Р.Д.Джабарова, Т.К.Караев//Инф.лист.АзНИИТИ.Сер.Машиностроение.-1991.-№20.-4 с.

3. Гасанли Р.К., Наджафов А.С., Джабарова Р.Д. Использование легированного высокопрочного чугуна для оборудования, работающего в коррозионно-активных средах//Инф.лист.АзНИИТИ.Сер.Машиностроение.-1991.-№33.-4 с.

4. Шифрин В.Д., Гасанли Р.К. Изучение хладостойкости легированного высокопрочного чугуна//Инф.лист.АзНИИТИ.Сер.Машиностроение.-1991.-№37.-3 с.

5. Гасанли Р.К., Наджафов А.С., Джабарова Р.Д. Изучение износостойкости легированного высокопрочного чугуна//Инф.лист.Сер.Машиностроение.-1991.-№38.-4 с.

6. Повышение с помощью легирования коррозионной стойкости высокопрочного чугуна для оборудования, работающего в коррозионно-активных средах/Р.К.Гасанли, Ю.А.Ищук, Л.А.Солнцев, В.Д.Шифрин// Экспр.инф.Сер.Защита от коррозии и охрана окружающей среды.-и.: Мин-во нефт.и газов.промышл.-1991.-№5.-С.1-6.

7. Исследование коррозионной стойкости легированного высокопрочного чугуна/Р.Д.Джабаров, О.Ю.Рафиев, В.Д.Шифрин, Р.К.Гасанли //Азербайджанское нефтяное хозяйство.-1991.-№5.-С.12-14.

8. Изготовление деталей фонтанной арматуры из высокопрочного чугуна/Р.К.Гасанли, Т.К.Велиев, А.С.Наджафов, В.Д.Шифрин//Инф. лист АЗНИИТИ.Сер.Машиностроение.-1991.-№96.-3 с.

9. Высокопрочный легированный чугун для деталей запорных устройств/ Р.К.Гасанли, М.Д.Амиргулиев, А.С.Наджафов, В.Д.Шифрин// Инф.лист АЗНИИТИ.Сер.Машиностроение.-1992.-№90.-3 с.

10. Улучшение механических и эксплуатационных свойств легированного высокопрочного чугуна изотермической закалкой/ Р.Д.Джабаров, А.С.Наджафов, В.Д.Шифрин, Р.К.Гасанли//Нефтяное и химическое машиностроение.-1994.-№1.-С.23-25.

Соискатель



Р.К.Гасанли

Ответственный за выпуск к.т.н. Мацак А.Т.

Подписано к печати 18.08.94

Ук.-изд.л. I, 0

Заказ 1303.

объем I печ.л.

Тираж 100

Типография

1. ...  
2. ...  
3. ...  
4. ...  
5. ...  
6. ...  
7. ...  
8. ...  
9. ...  
10. ...  
11. ...  
12. ...  
13. ...  
14. ...  
15. ...  
16. ...  
17. ...  
18. ...  
19. ...  
20. ...

...

...

...

158524

AB 30.717