

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЛИТЬЯ

На правах рукописи

НИРФА Йожеф

УДК 669.018:621.745.5

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
МОДИФИКАТОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕМЕНТЫ
С ИНВЕРТНЫМ ВЛИЯНИЕМ НА ОБРАЗОВАНИЕ
ШАРОВИДНОЙ ФОРМЫ ГРАФИТА В ЧУГУНЕ

Специальность 05.16.04 -
"Литейное производство"

ДИССЕРТАЦИЯ

в форме научного доклада на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Киев - 1993 г.

*Шеф
перевірив*

Работа выполнена в Институте проблем литья
Академии наук Украины

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00814332 (L)

Ученый руководитель: д.т.н., профессор В.С.Шумихин

Специальные оппоненты: д.т.н., профессор О.М.Бялик
к.т.н., старший научный
сотрудник В.Б.Бубликов

Ведущее предприятие: Институт промышленной технологии,
Будапешт

Защита состоится "18" июня 1993 г. в 10 часов на заседании специализированного совета Д.016.20.01 при Институте проблем литья АН Украины по адресу: 252680, г.Киев - 142, ГСП, б.Вернадского, 34/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Телефон для справок: 444-12-10

Диссертация разослана "17" мая 1993 г.

Ученый секретарь специализированного совета, канд.тех.наук

Е.Г.Афтандилянц

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В промышленности Венгрии производство отливок из высокопрочного чугуна как современного и экономичного конструкционного материала недостаточно развито и составляет в среднем 6% общего объема выпуска литья из чугуна и стали, в то время как в странах с высоким уровнем развития машиностроения эта доля составляет около 30%. Для производства отливок из высокопрочного чугуна используются модификаторы, импортируемые из других стран /Англии, Франции, России/, что сопровождается определенными трудностями вследствие различных условий применения и эффективности этих модификаторов.

Применение отливок из высокопрочного чугуна во многих случаях эффективно вместо отливок из стали, серого и ковкого чугуна, особенно в традиционных для Венгрии отраслях - сельскохозяйственном и химическом машиностроении, а также в автомобильной промышленности, которая получает в перспективе развитие. Отсутствие в стране собственного производства модификаторов и лигатур и, как следствие этого, определенная зависимость от импортных поставок существенно сдерживают развитие производства отливок из высокопрочного чугуна.

В настоящее время при существующем в Венгрии уровне производства отливок из высокопрочного чугуна /около 18 тыс. тонн в год/ потребность в сфероидизирующих модификаторах и лигатурах составляет примерно 600 тонн в год, в дальнейшем эта потребность будет увеличиваться. Разработка эффективных модификаторов, создание и освоение оптимальной технологии их получения является для Венгрии актуальной задачей, решение которой позволит преодолеть существующие трудности развития производства отливок из высокопрочного чугуна. Промышленный выпуск модификаторов предполагается освоить на Шалготарьянском ферросплавном заводе.

Целью работы являлась разработка научно обоснованных оптимальных составов модификаторов и технологии их производства в условиях Венгрии с минимальным расходом энергетических и материальных ресурсов при соблюдении требований безопасности труда и охраны окружающей среды.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные задачи:

1. Анализ эффективности модификаторов для получения высокопрочного чугуна по их графитизирующему действию.

2. Исследование процесса модифицирования лигатурами, содержащими стабилизирующие элементы, и выбор оптимальных составов.

3. Разработка технологии индукционной плавки комплексных модификаторов.

4. Техничко-экономическое обоснование эффективности производства и применения разработанных модификаторов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлены основные закономерности инвертного влияния ряда стабилизирующих элементов при модифицировании чугуна на его графитизацию и формирование литой структуры.

2. Теоретически обоснованы и экспериментально проверены новые составы модификаторов, обеспечивающие получение высокопрочного чугуна с высокой степенью сфероидизации графита.

3. Выявлены особенности структуры чугуна в зависимости от состава модификаторов и скорости охлаждения.

Практическая ценность.

1. Разработана и экспериментально проверена новая технологическая схема производства модификаторов для получения высокопрочного чугуна, включающая выплавку базового сплава в индукционной тигельной печи, ввод легкоокисляемых компонентов в реакционном ковше и разливку в кристаллизатор с направленным теплоотводом. Технология обеспечивает стабильность химического и гранулометрического состава, практически исключает образование мелкой и пылевидной фракций и устраняет возникновение взрывоопасной концентрации пыли при дроблении модификаторов.

2. Выполнен анализ эффективности производства и применения новых модификаторов, показана экономическая целесообразность организации их промышленного производства в Венгрии. Новые составы модификаторов позволяют снизить расход сфероидизирующих материалов при получении высокопрочного чугуна на 10-20%, заменить дорогие элементы более дешевыми. Стоимость тонны модификаторов, выплавленных по разработанной технологии, на 10-20% ниже по сравнению с импортными. В производстве отливок из высокопрочного чугуна вследствие снижения расхода модификатора и повышения качества отливок экономия составляет 10-12 долларов на тонну годного литья.

Методы исследования. Для изучения процессов модифицирования и кристаллизации высокопрочного чугуна использовали:

-методы лежащей капли и максимального давления в газовом пузырьке для определения параметров взаимодействия графита с жидким металлом;

-метод измерения электродвижущей силы с применением твердых электролитов для определения активности кислорода в расплавах;

-методы количественной металлографии чугуна;

-методы химического и рентгеноспектрального анализа состава металла;

-методы определения механических свойств сплавов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены: на XI научно-технической конференции "Кристаллизация и свойства высокопрочного чугуна в отливках" /Киев, 1989 г./, на Международной научно-технической конференции по ферросплавам /г.Шалготарьян, Венгрия, 1989 г./, на семинаре "Развитие литейной технологии - производство отливок с высокими качественными характеристиками" /г. Эгер, Венгрия, 1989 г./.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 статей и получено 3 положительных решения по заявкам на изобретения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ эффективности модификаторов для получения высокопрочного чугуна по их графитизирующему действию.

В практике производства отливок из высокопрочного чугуна наибольшее распространение получили магнийсодержащие комплексные модификаторы, оптимизация состава которых продолжается применительно к различным условиям производства отливок. Одной из важных задач в этой области является разработка составов и технологии производства модификаторов, обеспечивающих высокую степень графитизации высокопрочного чугуна в отливках.

Проведен анализ данных о влиянии отдельных элементов в составе модификаторов на графитизацию чугуна, а также обобщены сведения по технологии производства модификаторов для обработки жидкого чугуна.

Регулирование свойств высокопрочного чугуна, формы и характера распределения графитовых включений в металлической основе достигается за счет использования графитизирующих /Al, C, Ti, Ni, Cu и др./ и стабилизирующих /Cr, Mn, Mg, PЗМ и др./ элементов в составах комплексных модификаторов. С физико-химической точки зрения соотношения этих элементов в составах модификаторов должны быть взаимосвязаны.

Анализ 170 известных сфероидизирующих модификаторов, применяемых в международной литейной практике, показал, что соотношение по этим элементам изменяется в широких пределах - от 1,7 до 15, а более 50% модификаторов укладываются в интервал 5-10 /рис. 1/.

Соотношение суммарных концентраций графитизирующих и стабилизирующих элементов в модификаторах

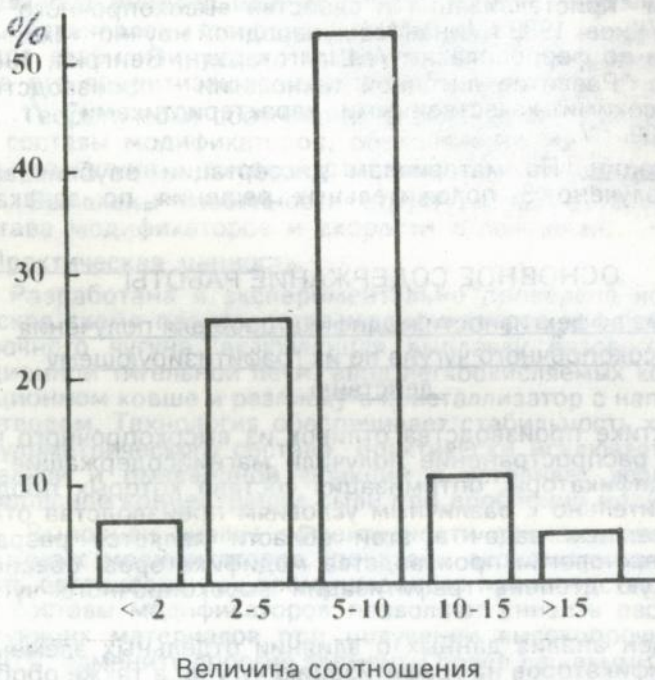


Рис. 1

Известно, что одна из самых важных технико-экономических характеристик эффективности модификаторов - степень усвоения магния расплавом - обратно пропорциональна содержанию магния в самом модификаторе. Барий, кальций, РЗМ в составе модификаторов в относительно небольших количествах способствуют повышению сфероидизирующей способности лигатур. Наиболее часто употребляется кальций, но из-за некоторых отрицательных явлений / снижение скорости реакции при вводе модификатора, увеличение количества шлака, способствование пассивации лигатуры / применение кальция наиболее эффективно при его содержании в составе модификаторов до 2 %.

Отмечается в ряде случаев, что применение циркония, титана, ванадия и других элементов также в малых концентрациях оказывает графитизирующее воздействие, что может быть объяснено как действие модификаторов I рода. При увеличении концентрации этих элементов они начинают оказывать обратное - карбидостабилизирующее воздействие.

Представляет интерес определение оптимальной концентрации таких элементов, оказывающих инвертное воздействие на кристаллизацию чугуна, с целью повышения его графитизации и степени сфероидизации графита. По сравнению с кальцием, барием указанные выше элементы не дают пирозффекта, легко вводятся в состав лигатур, относительно дешевы. Исходя из предположения, что причиной их графитизирующего воздействия является образование в расплаве труднорастворимых дисперсных соединений, можно прогнозировать увеличение количества включений графита, их измельчение и соответственно более высокую степень сфероидизации.

Проведен анализ разработанных и применяемых на практике технологий производства модификаторов. Так, введение магния в жидкий ферросилиций сопровождается большими изменениями температуры, колебанием степени усвоения магния и нестабильностью химического состава производимых модификаторов. Сплавление твердых составляющих в графитовом тигле индукционной печи позволяет регулировать температуру, но без применения защитной атмосферы угар легкоокисляемых составляющих /Mg, Ca, PЗМ/ изменяется в широких пределах, поэтому качество модификаторов нестабильное.

Метод расплавления базового сплава и последующего ввода магния и подобных ему элементов в условиях защиты от окисления создает благоприятные условия для стабилизации химического состава, расширяет возможности получения различных модификаторов.

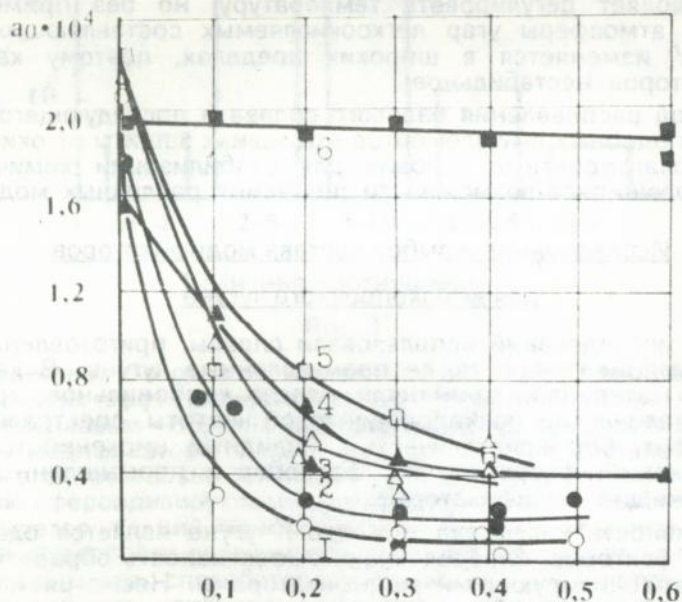
Исследование и выбор состава модификаторов для высокопрочного чугуна

Для исследований использовали сплавы, приготовленные из чистых компонентов, а также промышленные чугуны. В качестве исходных материалов применяли железо карбонильное, кремний монокристаллический полупроводниковой чистоты, спектрально чистый графит, бор кристаллический, йодидный цирконий и титан, ферроцирконий, феррованадий, ферробор и промышленные магниесодержащие модификаторы.

Активность кислорода в жидком чугуне является одним из основных факторов, определяющих эффективность обработки расплава сфероидизирующими модификаторами. Несмотря на относительно невысокий общий уровень активности кислорода $/2+5 \times 10^{-4}/$, содержащиеся в модификаторах поверхностно- активные элементы - магний, кальций, PЗМ и др. - прежде всего расходуются на взаимодействие с кислородом и серой. Для достижения максимального эффекта модифицирования и снижения расхода сфероидизирующих реагентов возможно использовать модификаторы, содержащие в своем составе элементы с высоким сродством к кислороду и сере и не являющиеся сфероидизаторами графита.

Исследования показали, что ввод в расплав, например, РЗМ или комплексного модификатора ФСМг9К2 в количестве 0,2% на порядок снижает величину активности кислорода. Цирконий, титан и бор в количестве по 0,2-0,3% также существенно - в 4-6 раз - уменьшают величину a_o /рис.2/, хотя выход кривых на горизонтальный участок наблюдается при разных концентрациях этих элементов. Для циркония и титана эта концентрация составляет примерно 0,3%, для бора - более 0,5%. Исключение составляет ванадий, добавки которого до 0,6% в наших экспериментах практически не повлияли на величину активности кислорода. Следовательно, цирконий, титан и бор в составе модификаторов могут способствовать рафинированию чугуна и тем самым оказывать благоприятное воздействие на эффективность процесса.

Влияние некоторых химических элементов и модификаторов на активность кислорода в чугуне



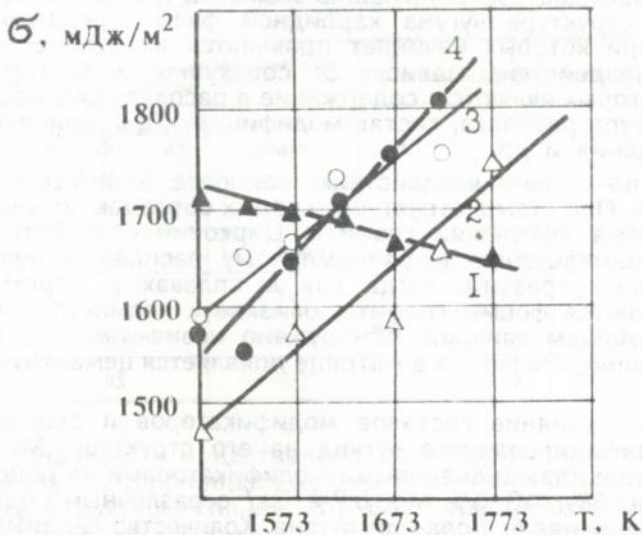
Количество, мас. %
 1 - РЗМ; 2 - ФСМг9К2; 3 - Zr; 4 - Ti;
 5 - B; 6 - V.

Рис. 2

Из общих положений термодинамики поверхностных явлений следует, что межфазное натяжение на различных кристаллографических плоскостях графита, растущего в жидком чугуна, будет различаться. Величина межфазной энергии определяет также процесс образования зародышей в ходе кристаллизации чугуна. Существенное значение должны иметь добавки поверхностно-активных элементов, влияющих на поверхностное взаимодействие или образующих дополнительные центры кристаллизации. Измерения поверхностных характеристик насыщенных железуглеродистых расплавов методом лежащей капли проводили в интервале температур 1473-1773 К. Результаты этих измерений для некоторых сплавов при температуре 1623 К приведены в таблице I.

Из анализа экспериментальных данных следует, что насыщенные углеродом расплавы железо-кремний-углерод с добавками бора, ванадия, циркония и титана плохо смачивают подложку из пирографита. Для всех изученных сплавов наблюдается лучшее смачивание базисной плоскости графита. Контактный угол на 5-16° меньше на базисной плоскости графита, чем на призмной.

Температурные зависимости поверхностного натяжения Fe-Si-C расплавов, насыщенных углеродом, с добавками циркония, титана, бора и ванадия



Добавки: 1 - Zr, 2 - Ti, 3 - B, 4 - V.

рис. 3

Температурные зависимости поверхностного натяжения $\sigma_{ж-г}$ / хорошо аппроксимируются прямыми линиями, однако влияние добавленных элементов различно /рис.3/. Сравнительно малая концентрация циркония /0,07%/ приводит к уменьшению поверхностного натяжения, что подтверждает его поверхностную активность в железоуглеродистых расплавах. Все остальные элементы повышают $\sigma_{ж-г}$ с увеличением температуры. Для всех изученных расплавов, кроме расплава с титаном, наблюдается уменьшение контактного угла смачивания θ и увеличение энергии адгезии W_a . Разность величин контактных углов $\Delta\theta$ и энергии адгезии ΔW_a на базисной и призмной гранях графита зависит от наличия в расплаве элементов.

Добавки бора, ванадия, циркония и титана увеличивают разницу ΔW_a на базисной и призмной гранях графита. Полученные данные согласуются с результатами исследований, выполненных ранее в Институте проблем литья АН Украины и за рубежом, которые свидетельствуют о том, что отрицательные величины $\Delta\theta$ и высокие значения ΔW_a являются необходимым условием образования шаровидного графита в чугунах. С этой точки зрения малые добавки элементов, особенно циркония и титана, могут оказывать положительное воздействие на графитизацию железоуглеродистых сплавов. С повышением концентрации этих элементов проявляется их инвертное влияние, т.е. они начинают вести себя как карбидостабилизирующие элементы и способствуют образованию в структуре чугуна карбидной фазы. Предельные концентрации, при которых начинает проявляться их карбидостабилизирующее воздействие, зависят от совокупности факторов, основными из которых являются: содержание в расплаве кислорода и серы, температура расплава, состав модифицирующих присадок, скорость охлаждения и др.

Цирконий по своему воздействию наиболее отличается от других элементов. При этом в структуре твердых образцов получена и различная форма включений графита. Цирконий способствует существенному измельчению и равномерному распределению в матрице включений графита, тогда как в сплавах с бором и титаном наблюдаются формы графита, близкие к вермикулярной. В сплаве, содержащем ванадий, обнаружено незначительное измельчение включений графита, а в матрице появляется цементитная фаза.

Исследовано влияние составов модификаторов и скорости охлаждения модифицированного чугуна на его структуру. Модифицирование осуществляли смешанными модификаторами на основе ферросилиция /93,5% ФС, 5% Mg, 0,7% Са/ с различным содержанием циркония, ванадия, бора или титана. Количество вводимого в расплав модификатора составляло 3% от массы обрабатываемого металла. Исследования выполнены для диапазона средних скоростей охлаждения от 10 до 100 град/с. Некоторые составы модифицирующих смесей и железоуглеродистых сплавов приведены в таблице 2. Структуру изучали с помощью установки количествен-

ного металлографического анализа. Определялись такие характеристики структуры, как объемная доля графита, средняя площадь, диаметр и периметр включений на 1 мм².

Таблица 1
 Параметры взаимодействия насыщенных железоуглеродистых расплавов с пирографитом при температуре 1623 К

№№ пп	Концентрация элементов в насыщенном Fe-C расплаве, %	$\sigma_{ж-г,2}$ мДж/м ²	θ , град		$\sigma_{г-ж}$ мДж/м ²		W_a , мДж/м ²	
			ool	hko	ool	hko	ool	hko
1.	0,12 % В	1705	99	115	1230	1790	1330	910
2.	0,13 % V	1720	101	114	1290	1770	1380	990
3.	0,07 % Zr	1680	101	116	1280	1530	1440	890
4.	0,11 % Ti	1630	108	122	1470	1930	1130	770

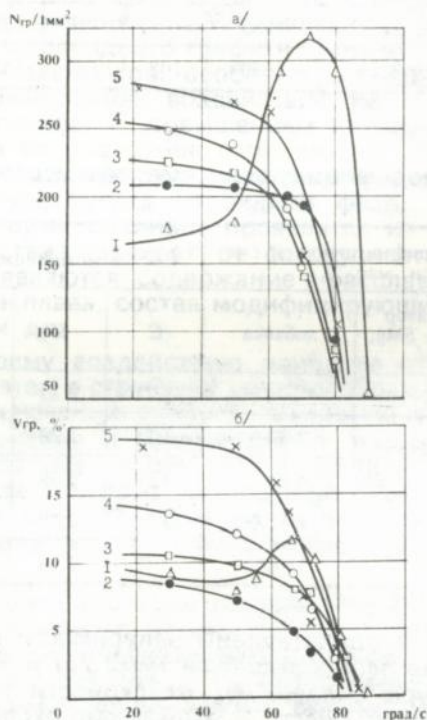
Таблица 2
 Составы модифицирующих смесей и исследованных сплавов

№№ пп	Состав модифицирующей смеси, мас. %		Состав модифицированного чугуна, мас. %				
	модификатор /93, 5ФС, 5Mg, 0,7Ca/	добавка	C	Si	S	Mgост	Другие элементы
1.	100	-	3,71	2,23	0,016	0,031	-
2.	93	7 FeB	3,75	2,20	0,013	0,028	0,015 В
3.	96	4 FeV	3,14	3,39	0,015	0,038	0,014 V
4.	96	4 FeZr	3,76	2,19	0,010	0,038	0,019 Zr
5.	95	5 FeTi	3,77	2,28	0,021	0,027	0,012 Ti

На рис. 4 представлены зависимости количества включений графита $N_{гр}$ на площади шлифа 1мм² /а/ и объемной доли графита $V_{гр}$ в структуре сплава /б/ от скорости охлаждения и состава модифицирующей смеси. В этой серии экспериментов при незначительном времени между модифицированием расплава и заливкой образцов максимальное количество графитных включений наблюдалось при модифицировании чугуна модификатором без добавок инвертных элементов в диапазоне повышенных скоростей охлаж-

дения 60-80 град/с. При более низких скоростях охлаждения наибольшая графитизация имеет место при использовании модификатора, содержащего титан. Однако, если учесть разницу в химическом составе обрабатываемого чугуна, то окажется, что по графитизирующей способности модификатор с добавками циркония практически не уступает модификатору с титаном. Кроме того, увеличение содержания титана в сплаве выше 0,1% приводит уже к деформированию и образованию вермикулярной формы включений графита в структуре чугуна. Поэтому предпочтительнее применять модификатор с цирконием, причем оптимальное содержание последнего в расплаве не должно превышать 0,15%, так как выше этой концентрации также начинает проявляться его инвертное влияние на графитизацию.

Влияние состава модифицирующих смесей и скорости охлаждения на графитизацию чугуна



Скорость охлаждения

1,2,3,4,5 - порядковые номера модифицирующих смесей согласно табл. 2

Рис. 4

Модификаторы, содержащие ванадий и бор, менее эффективны по графитизирующему воздействию, чем модификаторы с цирконием, однако необходимо отметить более высокую степень перлитизации чугуна при применении ванадия, что может быть использовано в производстве износостойких сплавов. Наименьшее влияние оказывал бор, хотя в отдельных случаях при его содержании в чугуне 0,03-0,04% наблюдались повышение степени графитизации и измельчение включений графита. На основе выполненных исследований предложен ряд комплексных модификаторов для получения высокопрочного чугуна. Химический и фазовый состав некоторых модификаторов приведен в таблице 3. В основном в составах модификаторов содержатся цианиды железа, имеются также комплексные соединения, содержащие кальций, церий, инвертные элементы.

Разработка технологии индукционной

плавки модификаторов

На основе анализа применяемых на практике технологий производства модификаторов для высокопрочного чугуна предложена новая технологическая схема, заключающаяся в расплавлении базового состава и последующем вводе в него магния и подобных ему элементов в защитной атмосфере. Принципиальная схема предложенной технологии показана на рис. 5. Первоначально в индукционной тигельной печи выплавляется базовый состав /например, ферросилиций/. В печь вводятся также трудноокисляемые добавки и ферросплавы. Полученный расплав переливают в ковш-реактор, куда под слоем защитного шлака вводят легкоокисляемые добавки /магний, кальций и др./. После экспресс-анализа жидкий расплав разливают в кристаллизаторы с плоскопараллельными водоохлаждаемыми стенками. Полученные слитки модификатора поступают на дробление и рассев и далее на упаковку и отправку потребителю.

Определены основные технологические параметры процесса индукционной плавки модификаторов, в том числе оптимальный температурный режим, угар элементов, скорость теплоотвода при кристаллизации, длительность отдельных операций. Изучено изменение состава модификаторов в зависимости от технологических условий с определением средней величины отклонения содержания элементов.

Исследования показали, что с увеличением массы базового расплава уменьшаются тепловые потери при вводе в него магния. При массе расплава более 1 т температура ввода магния устанавливается на уровне 1633-1653 К, а степень усвоения магния составляет 95% /рис. 6/. Среднее значение усвоения кремния составляет также 95% /против 90% при электродуговой плавке/. Статистический анализ опытно-промышленных плавков показал высокую стабильность концентрации элементов в модификаторах. Так, содержание магния колеблется от среднего значения в пре-

делах $\pm 0,1\%$, кремния $\pm 1,2\%$, железа $\pm 1,5\%$, кальция $\pm 0,1\%$, циркония $\pm 0,1\%$.

Таблица 3

Химический и фазовый состав модификаторов

Модификатор / состав, мас. % /	ρ , кг/м ³	Обнаруженные фазы			
		Основная система	Сильные линии	Средней интенсивности линии	Слабые линии
№ 1 Si - 75; Mg - 5; P3M - 0,8 Ca 0,6...0,7 Fe - ост.	4650	FeSi ₂	FeSi	Mg ₂ Si CaO•2FeO	Si; CeO ₂
№ 2 Si - 75; Mg - 5; P3M - 0,8 Ca 0,6...0,7 V - 4; Fe - ост.	4500	FeSi	FeSi ₂	Fe ₅ V ₃ Si ₂ ; Mg ₂ Si	α -Ca ₂ SiO ₄
№ 3 Si - 75; Mg - 5; P3M - 0,8 Ca 0,6...0,7 Zr - 5; Fe - ост.	4550	FeSi; FeSi ₂		ZrSi ₂	

Введение легкоокисляемых составляющих в расплав под слоем защитного шлака не только обеспечивает высокую степень их усвоения, но и стабилизирует условия и длительность реакции растворения, которая составляет 30-35 с.

Направленный теплоотвод в кристаллизаторе с водоохлаждаемыми стенками обеспечивает усредненную по слитку скорость охлаждения не менее 3 град/с и образование столбчатых кристаллов. Этим достигается хорошее дробление модификатора практически без мелкой и пылевидной фракции. Как показали результаты экспериментов, количество мелкой /менее 0,7 мм/ фракции при дроблении быстроохлажденного модификатора составляет не более 3-4% от его общей массы против 10-15% при дроблении модификатора, разлитого в изложницы на разливочной машине.

Принципиальная схема технологии производства модификаторов



Рис. 5

Зависимость оптимальной температуры T базового расплава при вводе магния и степени усвоения магния η_{Mg} от массы расплава M

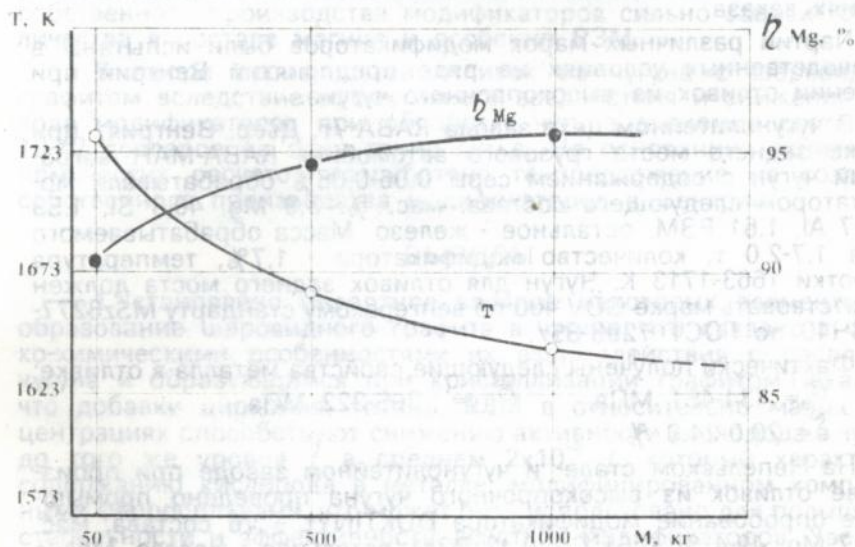


Рис. 6

В специальной установке определяли взрывоопасность модификатора. Минимальная взрывоопасная концентрация пыли / фракции до 100 мкм/ составляет 320 г/м³. Благодаря резкому снижению количества мелкой фракции при новой технологии производства практически ликвидируется возможность получения взрывоопасной концентрации пыли при дроблении модификатора.

Мелкая фракция модификаторов и образующийся шлак перерабатываются далее по разработанной технологии в графитизирующий модификатор или десульфуратор чугуна. Экологические условия производства и безопасность труда соответствуют международным стандартам.

На основе теоретических исследований и результатов экспериментов, выполненных в промышленных условиях, разработан марочный ряд модификаторов под названием DUKTINYL-V для производства высокопрочного чугуна с различным содержанием магния /от 2,5 до 12%/, P3M /от нуля до 2,0%/, циркония /от нуля до 5%/, кальция /от 0,5 до 2,5%/.

В разработанных модификаторах соотношение графитизирующих и стабилизирующих элементов находится в пределах 7-10, и только в марках с высоким содержанием магния /более 8%/ это соотношение меньше 5.

Содержание в модификаторах P3M, циркония или кальция /возможно и других элементов/ оговаривается потребителем в условиях заказа.

Партии различных марок модификаторов были испытаны в производственных условиях на ряде предприятий Венгрии при получении отливок из высокопрочного чугуна.

В чугунолитейном цехе завода RABA /г. Дьер, Венгрия/ при отливке заднего моста грузового автомобиля RABA-MAH ваграночный чугун с содержанием серы 0,06-0,08% обрабатывали модификатором следующего состава, мас. %: 3,9 Mg, 40,3 Si, 1,53 Ca, 0,7 Al, 1,61 P3M, остальное - железо. Масса обрабатываемого чугуна 1,7-2,0 т, количество модификатора - 1,7%, температура обработки 1663-1713 К. Чугун для отливок заднего моста должен соответствовать марке GÖV 400 по венгерскому стандарту MSz8277-88 /B440 по ГОСТ 7293-85/.

Фактически получены следующие свойства металла в отливке:

$$\sigma_B = 434-451 \text{ МПа}, \quad \sigma_{0,2} = 305-322 \text{ МПа},$$

$$\delta = 20,0-24,0 \%$$

На Чепельском сталелитейном и чугунолитейном заводе при производстве отливок из высокопрочного чугуна проведено промышленное опробование модификатора DUKTINYL - V6 состава, мас. % : 5,7 Mg, 49,4 Si, 0,61 Ca, 0,42 P3M, остальное - железо. Масса обрабатываемого чугуна 2 т, количество вводимого при температуре 1673-1723 К модификатора составляло 2,0-2,2 %. Чугун после сфероидизирующей обработки должен соответствовать марке GÖV500 / B450 / и иметь следующие свойства : $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$,

$\delta = 7\%$, НВ 1700-2300 МПа. Фактически получены такие свойства / средний результат трех измерений / : $\sigma_B = 536,2$ МПа, $\delta = 11,5\%$, НВ 1900 МПа.

Модификатор с цирконием был опробован на чугунолитейном заводе в г. Дендеш при получении высокопрочного чугуна в ковше емкостью 300 кг. Количество вводимого модификатора составляло 1,8-2,0 % от массы обрабатываемого расплава. Полученный высокопрочный чугун имел следующие механические свойства / числитель - в литом состоянии, знаменатель - после ферритизирующего отжига / : $\sigma_B = 610 / 484$ МПа, $\delta = 4,2 / 23,6\%$, НВ 1980 / 1640 МПа.

Полученные результаты подтверждены актами опытно-промышленной проверки.

Технико-экономическое обоснование производства и применения разработанных модификаторов

В результате разработки новых составов и новой технологии производства модификаторов снижаются материальные и энергетические расходы. Если тонна модификатора типа "Прокалой" стоит около 1900 долларов, то расходы по технологии производства модификаторов в условиях Венгрии в зависимости от содержания магния и РЗМ составляют от 1200 до 1700 долларов за тонну, то-есть на 10-20 % дешевле. В конечном итоге экономичность собственного производства модификаторов сильно зависит от количества в составе магния и особенно РЗМ.

В сфере производства отливок из чугуна с шаровидным графитом вследствие эффективного воздействия и снижения расхода модификаторов при обработке чугуна экономия составляет 10-12 долларов на одну тонну литья. На основании технико-экономических расчетов разработано техпредложение на создание собственного производства модификаторов в Венгрии.

ВЫВОДЫ

1. Установлено инвертное влияние некоторых элементов на образование шаровидного графита в чугуне, что связано с физико-химическими особенностями их взаимодействия с расплавом чугуна и образующимся при кристаллизации графитом. Показано, что добавки циркония, титана, РЗМ в относительно малых концентрациях способствуют снижению активности кислорода в чугуне до того же уровня / в среднем 2×10^{-4} /, который характерен содержанию кислорода в металле, модифицированном комплексными ферросплавами, что может быть использовано для повышения стабильности и эффективности действия модификаторов. Увеличение содержания этих элементов в расплаве выше определенного вызывает метастабильный характер кристаллизации.

2. Дополнительное введение в состав комплексных модификаторов циркония, титана, РЗМ в относительно малых концентрациях существенно увеличивает степень графитизации чугуна при кристаллизации и одновременно уменьшает размер включений графита. При этом оптимальное соотношение графитизирующих и стабилизирующих элементов в модификаторах находится в пределах 7-10.

3. Разработаны экономичные составы модификаторов для получения чугуна с шаровидным графитом, обеспечивающие хорошую эффективность обработки. Рекомендованы к применению модификаторы на основе ферросилиция, содержащие магний, цирконий или РЗМ, обеспечивающие концентрацию магния в расплаве после обработки не менее 0,04%, циркония 0,10+0,15. Модификаторы, содержащие РЗМ цериевой группы в количестве 1,0-1,5%, наиболее эффективно обеспечивают графитизацию сплавов, однако их стоимость существенно выше.

4. Разработана технология получения модификаторов, которая включает следующие операции:

- расплавление ферросилиция в индукционных печах по заданному температурному режиму;

- введение магния в ферросплав в специальном ковше под защитным шлаком;

- разливка в кристаллизаторы с направленным теплоотводом, обеспечивающим скорость охлаждения сплава не менее 3 град/с.

5. Изучены технологические, экономические и экологические характеристики новых модификаторов и технологии их получения, разработаны и выданы рекомендации для промышленного использования. Показана высокая стабильность составов модификаторов, получаемых по разработанной технологии. Так, среднее отклонение по содержанию магния не превышало $\pm 0,1\%$. Опытно-промышленная проверка разработанных модификаторов показала их высокую эффективность и стабильность свойств получаемого высокопрочного чугуна.

6. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности производства и применения новых модификаторов в условиях Венгрии, показана целесообразность замены ими импортных модификаторов. Подготовлено техпредложение на создание собственного производства модификаторов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Нирфа Й., Вереш-Фараго Э., Ладан Б. Требования к качеству лигатур, применяемых для сфероидизирующей обработки чугуна // Материалы международной конференции по ферросплавам. - Шалготарьян, Венгрия, 26-27 мая 1989 г.

2. Литовка В.И., Дубровин А.С., Венгер В.В., Нирфа Й. Совершенствование технологии выплавки магниесодержащих лигатур //

Материалы международной конференции по ферросплавам.-Шалготарьян, Венгрия, 26-27 мая 1989 г.

3. Нирфа Й. Некоторые производственные свойства магниесодержащих лигатур // Развитие литейной технологии - производство отливок с высокими качественными характеристиками. - Эгер, Венгрия, 5-6 октября 1989 г.

4. Нирфа Й., Вереш Э. Использование лигатур для получения чугуна с шаровидным графитом на промышленных предприятиях Венгрии // Кристаллизация и свойства высокопрочного чугуна в отливках. - К. : ИПЛ АН Украины. - 1990. - С.135-140.

5. Нирфа Й. Устойчивость обработки жидкого металла при производстве ЧШГ в зависимости от условий получения лигатуры // Литейное производство. - 1990. - № 1. - С.1-7.

6. Нирфа Й. Развитие производства высокопрочного чугуна и магниесодержащих лигатур в Венгрии // Литейное производство. - 1991. - № 2. - С.20-21.

7. Нирфа Й. и др. Лигатура для производства чугуна с шаровидным графитом и способ ее изготовления. Заявка № 2367 / 89 от 11.05.1989 г., Венгрия.

8. Нирфа Й., Вереш-Фараго Э. Способ производства лигатуры. Заявка № 6820 от 29.12.1989, Венгрия.

9. Нирфа Й. Лигатура для обессеривания железоуглеродистых сплавов. Заявка № 8381 / 90 от 21.12.1990 г. Венгрия.

Нирфа Й.

Подписано к печати 12.05.93

Формат 60×84/16. Бумага книжно-журнальная.

Печать офсетная.

Уч. - изд. л. 1,1. Усл. печ. л. 1.0

Тираж 100 экз.

Фирма " Э с с е " зак. № 1-30-93

465657

Ab 27.472

Ab 27.472