

4228506

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

ЧЕРНЯВСКИЙ Юрий Гаврилович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИРКОНИЕВОГО
МОДИФИКАТОРА НА НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА
СЕРОГО ЧУГУНА В МЕЛКИХ ТОНКОСТЕННЫХ
ОТЛИВКАХ

(Специальность 05.16.04. — Литейное производство)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —

кандидат технических наук, доцент Л. И. Рылов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А. А. Жуков,
кандидат технических наук Е. А. Васильев.

Ведущее предприятие — Калужский завод транспортного машиностроения.

Автореферат разослан « »

197 года.

Защита диссертации состоялась на заседании Совета факультета «Производства» ЛЭИ, Москва, 107005, 2-я Бауманская ул.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах с просьбой высылать по указанным адресам.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Ученый секретарь Совета факультета, кандидат технических наук

М228506

Высокие темпы развития промышленности в 9-й пятилетке, намеченные XXIV съездом КПСС, требуют дальнейшего совершенствования технологии получения чугунных отливок, повышения их качества и улучшения свойств чугуна.

Качество отливок, получаемых из серого чугуна, в значительной степени определяется его структурой. Одним из наиболее распространенных методов воздействия на структуру является модифицирование. Несмотря на широкое распространение модифицирования, некоторые теоретические и практические вопросы этого процесса изучены недостаточно, что снижает эффективность его применения. В частности, недостаточно разработаны вопросы применения модифицирования ваграночного чугуна с целью устранения отбела в мелких тонкостенных отливках, получаемых в сырых формах.

Основной целью данной работы является исследование и изыскание способов устранения отбела в мелких тонкостенных отливках из ваграночного серого чугуна и исключение отжига из технологического процесса за счет модифицирования чугуна перед его разливкой в сырые формы.

Диссертация состоит из предисловия и 7 глав.

Глава I посвящена анализу современного состояния вопроса и постановке задач исследований. В настоящее время получение мелких тонкостенных отливок из серого чугуна в сырых формах обусловлено трудностями получения однородной структуры по всему сечению. Особое значение при этом имеет проблема устранения отбела в отливках при одновременном улучшении их качества.

Устранение отбела или его уменьшение в отливках производится различными способами. Наибольшее распространение в практике литейного производства получили - применение отжига, повышение углеродного эквивалента чугуна и его модифицирование графитизирующими добавками.

Однако эти способы обладают определенными недостатками, которые не позволяют использовать их с целью устранения отбела в мелких тонкостенных отливках, получаемых в сырых формах из ваграночного чугуна с высоким содержанием углерода и кремния. Кроме того, применение некоторых из этих способов (отжига) приводит к понижению качества отливок и снижению механических свойств чугуна.

Показано, что для устранения отбела в мелких тонкостенных отливках нужны сложные комплексные модификаторы, специально раз-

7228306

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана

рабатываемые для определенного химического состава чугуна и для заданных условий получения отливок. Эти модификаторы должны не только производить дегазацию чугуна и устранять вредное влияние примесей на процессы графитизации, но а также давать возможность более шире управлять процессами кристаллизации, т.е. изменять жидкое состояние расплава, создавать в нем большое количество центров кристаллизации графита, понижать работу образования зародышей новой фазы, уменьшать скорость охлаждения и увеличивать продолжительность кристаллизации, устранять вредное влияние выделяющихся газов на поверхности металл-форма и т.д.

На основании анализа современного состояния вопроса получения мелких тонкостенных отливок из ваграночного чугуна в сырых формах в работе поставлены следующие задачи исследований:

1. Теоретически и экспериментально обосновать выбор вида модификатора. Разработать химический состав модификатора с помощью метода математического планирования эксперимента. Провести термодинамические расчеты взаимодействия компонентов модификатора с различными примесями чугуна.

2. Изучить влияние модифицирования на процессы графитизации и структурообразования серого чугуна в мелких тонкостенных отливках. Исследовать влияние модифицирования на склонность серого чугуна к отбелу. Экспериментально определить оптимальное количество введения модификатора в серый чугун.

3. Провести исследование образования неметаллических включений в чугуне при модифицировании и их влияние на графитизацию и кристаллизацию чугуна. Исследовать распределение элементов в различных структурных составляющих чугуна с помощью микро-рентгеноспектрального анализа.

4. Исследовать влияние модифицирования чугуна на его механические свойства и обрабатываемость применительно к мелким тонкостенным отливкам.

Глава II посвящена методике проведения исследований. Для исследований был выбран серый чугун, который применяется на Подольском механическом заводе для получения мелких тонкостенных отливок в сырых формах. Выплавка чугуна производилась в вагранке производительностью 10-12 т/час. Температура на жёлобе копыльника составляла 1400-1430°C. Серый чугун имел следующий химический состав (в %): 3,4-3,6 C, 2,6-3,0 Si, 0,6-0,95 Mn, 0,2-0,4 P, до 0,15 S, хрома и никеля - до 0,08. Механические свойства в отливках соответствовали СЧ 18-36 ГОСТ 1412-70.

Для устранения отбела в отливках был разработан циркониевый модификатор, содержащий кремний, марганец, цирконий и железо. Экспериментальные плавки модификатора проводили в электродуговой печи емкостью 25 кг в лаборатории ферросплавов и спецлигатур ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина^{х)}.

Температуру жидкого металла контролировали вольфрам-рениевой термопарой погружения. В качестве регистрирующего прибора использовали потенциометр типа III класса 02.

Содержание C, $S_{св}$, Mn, P, S в чугуна определяли химическим методом (ГОСТ 2604-44), а содержание Si, Cr, Ni определяли спектральным анализом. Остаточное содержание циркония в чугуна определяли химическим методом в лаборатории микроанализа ВИАМ. Анализ газов в чугуна проводили в лаборатории газового анализа ЦНИИЧМ методом вакуум-плавления при температуре 1650°C на приборе ЭКСАЛОГРАФ ЕА-1.

Анализ макроструктуры проводили на изломах клиновидных проб и тонкостенных отливок с помощью бинокулярного микроскопа. Анализ микроструктуры чугуна проводили с помощью микроскопов МИМ-7, МИМ-8М, МеГ-2. Для травления шлифов использовали 4%-й спиртовой раствор азотной кислоты и 10%-й водный раствор персульфата аммония. Подсчет количества эвтектических зерен в поле зрения шлифа производили с помощью планиметрирования микрофотографии. Микроструктура оценивалась согласно ГОСТ 3443-57.

Испытания чугуна на механические свойства ($\sigma_{изг.}$, $\sigma_{в.}$, f и HB) проводили на образцах, изготовленных из заготовок различного диаметра. Заготовки диаметром 8, 10, 15, 20, 30 мм и длиной 340 мм отливали в сырых формах. Твердость по Бринелю определяли на приборе ТШ-2 при нагрузке 750 кг шариком диаметром 5 мм. Склонность чугуна к отбелу определяли на клиновидных пробах, заливаемых в сухие песчаные стержни с металлической приставкой толщиной 20 мм.

Анализ неметаллических включений в чугуна проводили различными методами: металлографическим, химическим и микрорентгеноспектральным. Химический анализ включений проводили в химической лаборатории ЦНИИТМАШ. Для определения количества неметаллических включений в зависимости от их размеров использовали

^{х)} Технология получения циркониевого модификатора была разработана сотрудником лаборатории ферросплавов и спецлигатур ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина инж. Б.А. Шушлебиным.

программно-вычислительное устройство КВАНТИМЕТ-720. Для подсчета включений была разработана программа проведения исследований и заложена в запоминающее устройство. Микрорентгеноспектральным анализом исследовали неметаллические включения, микроликвацию и распределение элементов между графитом и матрицей чугуна. Для этого использовали микроанализаторы: MAP-I, МИКРОСКАН-5, ХМА-5В, САМЕСА MS-46.

Исследование обрабатываемости чугуна проводили по двум критериям: определение скорости резания в зависимости от стойкости инструмента при точении (метод торцевой обточки) и определение времени прохождения сверла при сверлении отверстия на заданную глубину (метод сверления). Для этого использовали образцы диаметром 220 мм и толщиной 6 мм, а также мелкие тонкостенные отливки. При исследовании обрабатываемости чугуна использовали токарно-винторезный станок модели ИК62Б и сверлильный станок настольного типа НС-12.

Глава III посвящена обоснованию и разработке сложного модификатора для серого чугуна. Применение, существующих в настоящее время, графитизирующих добавок является малоэффективным для устранения отбела в мелких тонкостенных отливках, получаемых из ваграночного серого чугуна с высоким содержанием углерода и кремния. Для этого нужны сложные модификаторы, специально разрабатываемые для определенного химического состава чугуна и для заданных условий получения отливок. Поэтому на первом этапе проведения исследований для обоснования и разработки сложного модификатора были опробованы обычно применяемые графитизирующие добавки и их смеси: ферросилиций, силикокальций, смеси ферросилиция и силикокальция, ферросилиция и ферроцерия. Кроме этих добавок, по рекомендации проф., д.т.н. А.А. Жукова, были опробованы сплавы, содержащие цирконий: силикоцирконий (50-55% Si и 35-40% Zr) и сплав „SMZ” (64% Si, 6% Mn, 6% Zr), который был изготовлен в институте новой металлургической технологии ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина. Присадка добавок в чугун осуществлялась в количестве 0,3% и 0,5% от веса жидкого чугуна.

Глубина отбела на клиновидных пробах изменялась в зависимости от вида присаживаемого модификатора. Установлено, что наиболее эффективно уменьшение склонности чугуна к отбелу происходило при модифицировании сплавом „SMZ”. Добавка этого сплава наиболее сильно понижала отбел в отливках и на клиновидных пробах, однако полностью отбел в отливках не устранялся.

Следующим этапом исследований явилось разработка оптимального химического состава сложного модификатора, содержащего кремний, марганец и цирконий. Для этого был использован метод математического планирования эксперимента. При этом в качестве факторов варьирования были взяты количественные оценки содержания Si , Mn , Zr в модификаторе, а также количество вводимого модификатора в чугун; в качестве параметра оптимизации - склонность чугуна к отбелу, которая проверялась на клиновидных пробах.

На основе оценки литературных данных и анализа результатов предварительных исследований был выбран основной уровень и интервалы варьирования (табл. I).

Таблица I

Факторы	Содержание эл-в, %			Количество модификатора, %
	Si	Mn	Zr	
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3	$X_4 = X_1 X_2 X_3$
Основной уровень (0)	55,0	10,0	10,0	0,35
Интервал варьирования (J)	10,0	5,0	5,0	0,15
Верхний уровень (+I)	65,0	15,0	15,0	0,50
Нижний уровень (-I)	45,0	5,0	5,0	0,20

Реализация матрицы планирования эксперимента типа 2^{4-1} на практике позволила определить значения коэффициентов b_i в уравнении регрессии:

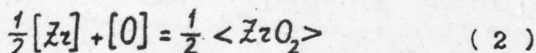
$$Y = 2,80 - 0,20X_1 + 0,10X_2 + 0,15X_3 + 0,05X_4 \quad (I)$$

Уравнение регрессии определяет зависимость склонности чугуна к отбелу от химического состава модификатора в заданных пределах варьирования факторов. Статистический анализ уравнения регрессии и реализация опыта на основном уровне позволили определить оптимальный химический состав модификатора для данного исследуемого чугуна. Результаты дополнительных опытов показали, что циркониевый модификатор, содержащий 50-55% Si , 10-13% Mn , 10-13% Zr , позволяет устранять полностью отбел в мелких тонкостенных отливках, получаемых в сырых формах.

Глава IV содержит результаты термодинамических расчетов взаимодействия циркония с вредными примесями чугуна (O_2 , N_2 и S). Оценка взаимодействия циркония с этими элементами производилась на основе расчетов величин изобарно-изотермического

потенциала (ΔG) соответствующих реакций.

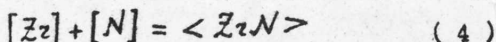
Реакцию раскисления чугуна цирконием можно представить в следующем виде:



Изменение изобарного потенциала реакции (2) с учетом нестан-
дартности условий составляет:

$$\Delta G^\circ = -476725 + 221,51 \cdot T \quad \text{дж.} \quad (3)$$

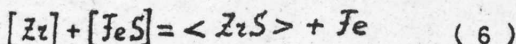
Реакцию деазотирования чугуна цирконием можно представить в следующем виде:



Изменение изобарного потенциала реакции (4) с учетом нестан-
дартности условий составляет:

$$\Delta G^\circ = -35463,76 + 175,81 \cdot T \quad \text{дж.} \quad (5)$$

Реакцию десульфурации чугуна цирконием можно записать в следующем виде:



Изменение изобарного потенциала реакции (6) с учетом нестан-
дартности условий составляет:

$$\Delta G^\circ = -677088 + 116,270 \cdot T \quad \text{дж.} \quad (7)$$

Термодинамические расчеты показали, что цирконий обладает сравнительно высоким химическим сродством к азоту, сере и кислороду. По своей раскислительной способности цирконий превосходит кремний и титан и уступает только алюминию. Деазотирующая способность циркония выше таких элементов, как алюминий, титан и кремний. Десульфурующая способность циркония превосходит такие элементы, как титан и марганец.

Глава V посвящена исследованию влияния циркониевого модификатора на структурообразование и механические свойства чугуна в мелких тонкостенных отливках. С целью определения оптимального количества введения модификатора в чугун приеадка циркониевого модификатора составляла от 0,2% до 2,0%. Для изучения механизма воздействия модификатора большое значение имеет исследование изменения химического состава, содержания газов и неметаллических включений в чугуне. Результаты этих исследований приведены в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2

Состояние чугуна	Присадка модификатора в чугуне, %	Химический состав чугуна, %						Процент усвоения циркония, %
		C	Si	Mn	P	S	Zr	
Исходный	-	3,63	2,82	0,68	0,140	0,090	-	-
Модифицир.	0,2	3,55	2,87	0,72	0,140	0,085	0,01	44,00
Исходный	-	3,60	2,75	0,76	0,120	0,120	-	-
Модифицир.	0,3	3,63	2,86	0,80	0,125	0,105	0,02	58,50
Исходный	-	3,54	2,60	0,71	0,135	0,092	-	-
Модифицир.	1,1	3,57	3,17	0,80	0,138	0,075	0,10	80,00
Исходный	-	3,66	2,82	0,56	0,136	0,092	-	-
Модифицир.	1,7	3,61	3,48	0,71	0,135	0,072	0,17	87,00

Таблица 3

Состояние чугуна	Кол-во модификатора, %	Кол-во газов, см ³ / 100 г	O ₂ вес. %	N ₂		H ₂	
				см ³ / 100 г	вес. %	см ³ / 100 г	вес. %
Исходный	-	33,4	0,013	6,5	0,0080	6,8	0,0008
Модифицир.	0,3	28,2	0,011	5,4	0,0070	8,0	0,0007
Модифицир.	1,4	26,2	0,010	5,2	0,0065	6,7	0,0006

Таблица 4

Состояние чугуна	Кол-во модификатора, %	Общее кол-во немет. вклч. г/100г	Кол-во неметаллических включений, %					
			SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	ZnO ₂	и др.
Исходный	-	0,0234	46,0	9,56	28,90	6,28	-	9,26
Модифицир.	0,3	0,0160	42,0	3,65	9,80	7,65	1,5	35,40
Модифицир.	1,4	0,0242	56,5	3,23	5,75	8,30	1,7	24,52
Модифицир.	2,0	0,0365	51,6	2,65	7,31	9,77	6,2	22,47

Химический состав чугуна при модифицировании изменяется незначительно (табл. 2). В основном повышается содержание кремния и марганца; эти элементы вносятся в чугун при его модифицировании вместе с модификатором. Содержание серы в модифицированном чугуне уменьшается по сравнению с исходным. С увеличением присадки модификатора в чугун количество серы в нем понижается. Это объясняется взаимодействием циркония с серой, в результате чего образуются сульфиды циркония. При этом не исключена воз-

возможность образования сложных сульфидов циркония и марганца.

Анализ содержания газов в чугуне (табл. 3) показал, что при модифицировании происходит понижение содержания азота и кислорода и незначительно повышается содержание водорода. Понижение содержания азота и кислорода в чугуне объясняется взаимодействием циркония с этими элементами, в результате чего образуются нитриды и окислы циркония, которые могут частично переходить в шлак. Незначительное повышение содержания водорода при модифицировании, по-видимому, связано с абсорбцией водорода цирконием, в результате чего образуются гидриды циркония (ZrH_2). Кроме того, цирконий относится к водородоудерживающим элементам, повышающих содержание водорода в металле. Присадка водородоудерживающих элементов приводит одновременно к снижению диффузионной подвижности водорода в металлах.

Химический анализ неметаллических включений (табл. 4) показал, что модифицирование приводит к изменению содержания включений в чугуне. Содержание FeO и MnO в модифицированном чугуне понижается примерно в три раза по сравнению с исходным. Уменьшение их содержания при модифицировании объясняется раскислительной способностью циркония. Выше было показано, что цирконий по своей раскислительной способности уступает только алюминию. Уменьшение общего количества включений при введении в чугун небольшой добавки модификатора объясняется их коагуляцией при модифицировании и укрупнением при всплывании за счет взаимной адгезии между собой.

Точечный метод подсчета включений на приборе КВАНТИМЕТ-720 показал, что количество включений изменяется в зависимости от их размеров (рис. 1). В модифицированном чугуне количество включений размером больше 2,6 мк уменьшается, а количество включений размером меньше 2,6 мк — возрастает. Установлено, что число включений размером около 1 мк в модифицированном чугуне в 1,5 раза больше, чем в исходном чугуне.

При металлографическом исследовании неметаллических включений на шлифах из исходного чугуна в нетравленном состоянии были обнаружены включения типа SiO_2 , Al_2O_3 , MnS . В модифицированном чугуне наряду с указанными включениями были обнаружены и новые включения: ZrO_2 , ZrN , $MnS \cdot ZrO_2$, кроме этих включений наблюдались и сложные — карбонитриды или оксикарбонитриды циркония. Микрорентгеноспектральный анализ неметаллических включений показал, что включения типа MnS располагаются внутри гра-

фитных розеток в модифицированном чугуна и, по периферии - в исходном чугуна.

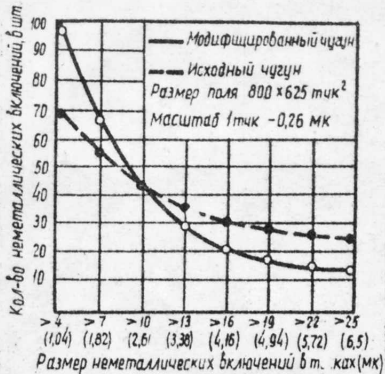


Рис. I.

металл-форма, а также хорошего кристаллографического соответствия решетки графита с решетками тугоплавких частиц (разность параметров решетки графита и ZrO_2 , ZrC , ZrN составляет 2,8-5,9%).

При модифицировании чугуна циркониевым модификатором в количестве 0,4-0,75% (рис. 2) полностью устраняется отбел в мелких тонкостенных отливках, при этом диаметр эвтектического зерна уменьшается примерно в 4 раза по сравнению с исходным. Также значительно изменяется структура графита в отливках; вместо междендритного точечного графита образуется тонкопластинчатый средней завихренности графит.

Структура металлической основы отливок, полученных из исходного и модифицированного чугуна значительно отличается; вместо дендритного строения на поверхности отливок из исходного чугуна при модифицировании образуется феррито-перлитная эвтектика. В центральных зонах отливок при модифицировании практически не наблюдается заметного изменения структуры чугуна.

Исследования влияния модифицирования чугуна на механические свойства проводили на образцах, изготовленных из заготовок различного диаметра. Результаты этих исследований показали, что твердость, предел прочности на растяжение и при изгибе незави-

Таким образом, различные методы анализа неметаллических включений в чугуна показали, что модифицирование чугуна вызывает изменение количества и распределения включений. Следовательно, модифицирование чугуна циркониевым модификатором создает наиболее благоприятные условия для графитизации чугуна в мелких тонкостенных отливках за счет образования большого количества высокодисперсных частиц в жидком расплаве, дегазации чугуна, устранения вредного влияния выделяющегося водорода на поверхности



Рис. 2.

симо от диаметра образца незначительно понижается. Незначительное понижение механических свойств чугуна при модифицировании связано с графитизирующим эффектом модифицирования.

Глава VI посвящена исследованию влияния модифицирования на обрабатываемость чугуна в мелких тонкостенных отливках.

При модифицировании значительно изменялась твердость дисков и тонкостенных отливок, на которых проводились исследования обрабатываемости. Твердость дисков, изготовленных из исходного и модифицированного чугуна соответственно составляла 187-197 НВ и 146-156 НВ. Кроме того, диски, изготовленные из различных видов чугуна соответственно имели различное строение графита и металлической основы. В поверхностных зонах дисков из исходного чугуна графит имел точечное строение, а структура металлической основы состояла из перлита и отдельных колоний феррита, причем в структуре наблюдались дендриты большой длины. В середине дисков - графит принимал пластинчатое строение, а структура состояла из перлита и обособленных феррито-графитных колоний.

Диски, изготовленные из модифицированного чугуна, имели в поверхностных зонах графит тонкопластинчатого строения в виде отдельных розеток. Металлическая основа имела феррито-перлитную структуру (до 55% феррита). В середине дисков графит имел тонкопластинчатое строение, а структура металлической основы состояла из перлитно-ферритной структуры.

Исследование обрабатываемости чугуна по критерию стойкости инструмента показало, что диски, изготовленные из модифицированного чугуна, обрабатывались значительно лучше, чем из исходного чугуна (рис. 3). Скорость резания при точении дисков из модифицированного чугуна выше скорости резания дисков из исходного.

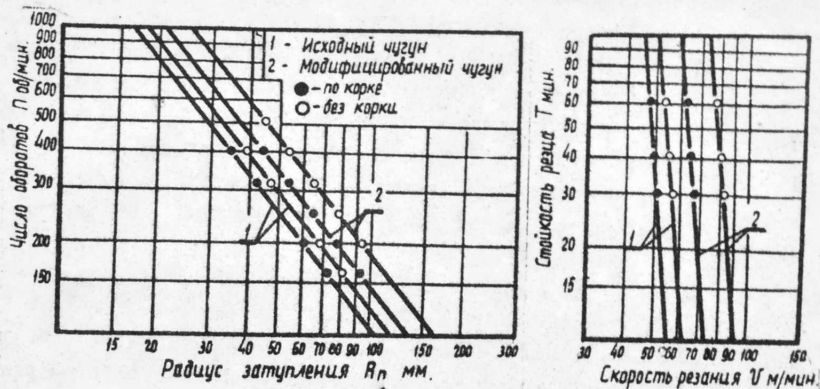


Рис. 3.

Исследование обрабатываемости чугуна методом сверления показало, что проникновение инструмента (сверла) при сверлении отверстий в дисках из модифицированного чугуна было значительно выше, чем в дисках из исходного чугуна. Следовательно, обрабатываемость модифицированного чугуна значительно лучше, чем исходного.

Таким образом, установлено, что модифицирование чугуна устраняет отбел и снижает твердость в тонкостенных отливках и дисках, изменяет строение графита и металлической основы, в результате чего улучшается обрабатываемость мелких тонкостенных отливок.

Глава VII содержит практические рекомендации и расчет экономической эффективности. Результаты проведенных исследований и данные проверки их в промышленных условиях позволяют сделать следующие рекомендации.

I. Циркониевый модификатор, содержащий кремний, марганец, цирконий и другие элементы, разработан для устранения отбела в мелких тонкостенных отливках путем модифицирования чугуна следующего состава (в %): 3,4-3,6 C; 2,6-3,0 Si; 0,6-0,95 Mn; до 0,15 S; 0,2-0,4 P; хрома и никеля - до 0,08. Температура выпуска металла из вагранки должна находиться в пределах 1400-1430°C. Разливку чугуна следует производить ковшем емкостью не более 100 кг при средней металлоемкости форм около 5 кг. Ковш должен закрываться крышкой для более медленного охлаждения

металла.

2. Модифицирование чугуна осуществляется путем введения порции модификатора в количестве 0,4-0,75% от веса жидкого металла под струю после заполнения на одну треть ковша. В каждом отдельном случае величину присадки модификатора определять по клиновидной пробе. После присадки модификатора необходимо интенсивно перемешать чугун в ковше и дать выдержку в течение 2-х минут. Разливку металла следует производить в течение 6-8 минут.

3. Перед введением в чугун модификатор следует прокалить при температуре 600-700°C в течение 2-х часов, а затем раздробить на куски размером 2-8 мм в поперечнике.

4. Влажность формовочной смеси должна составлять 5,0-6,5%.

Соблюдение указанных рекомендаций в промышленных условиях позволяет получать мелкие тонкостенные отливки без отбела и, тем самым дает возможность исключить из технологического процесса дорогостоящую и трудоемкую операцию отжига отливок.

Результаты исследований данной работы опробованы и внедряются на заводах: Подольском механическом заводе им. М.И. Калинина, Калужском заводе транспортного машиностроения, Ижевском машиностроительном заводе и Можгинском заводе машиностроительных деталей.

Ориентировочный расчет экономической эффективности применительно к условиям литейного цеха Подольского механического завода показал, что экономия от внедрения результатов исследований работы на этом заводе составляет около 60 000 рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Исследованиями установлено, что отбел в мелких тонкостенных отливках устраняется только модифицированием жидкого чугуна циркониевым модификатором, содержащим 10-13% Zr . Химический состав этого модификатора разработан методом математического планирования эксперимента.

2. Термодинамические расчеты взаимодействия циркония с азотом, серой и кислородом чугуна показали, что цирконий в жидком чугуне при температурах модифицирования обладает высокой деазирующей, десульфuriрующей и раскислительной способностью.

3. Различными исследованиями установлено, что при модифицировании чугуна циркониевым модификатором в нем образуется большое количество высокодисперсных неметаллических включений,

которые являются активными зародышами кристаллизации графита.

4. Установлено, что элементы модификатора (Mn и Zr), вводимые в чугуны, взаимодействуя с S , O_2 , H_2 , N_2 , образуют большое количество неметаллических включений в жидком чугуне и дают возможность кремнию играть важную роль в процессах графитообразования при кристаллизации чугуна в отливках.

5. При исследовании микроструктуры чугуна в мелких отливках установлено, что модифицирование полностью устраняет отбел в отливках и значительно изменяет форму и расположение графита. При этом происходит переход от междендритного точечного графита в исходном чугуне к равномерно распределенному тонкопластинчатому графиту в модифицированном чугуне. Кроме того, при модифицировании чугуна происходит значительное измельчение эвтектического зерна в отливках, являющееся результатом образования большого количества активных зародышей в жидком чугуне.

6. Установлено, что при модифицировании механические свойства чугуна изменяются незначительно. Это связано с графитизирующим эффектом воздействия модификатора на процессы кристаллизации чугуна.

7. Экспериментально установлено, что для устранения отбела в отливках количество присаживаемого модификатора в серый чугун составляет 0,4–0,75% от веса жидкого чугуна. На величину присадки модификатора большое влияние оказывает химический состав чугуна. Поэтому в каждом конкретном случае величина присадки модификатора определяется с помощью клиновидной пробы.

8. Различными методами исследований обрабатываемости чугуна установлено, что модифицирование его циркониевым модификатором повышает обрабатываемость мелких тонкостенных отливок.

9. Результаты исследований данной работы позволяют рекомендовать циркониевый модификатор для получения мелких тонкостенных отливок из серого чугуна с высоким углеродным эквивалентом без отбела в промышленных условиях. Ориентировочная экономическая эффективность внедрения результатов исследований данной работы только на одном заводе составляет около 60 000 рублей в год.

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Чернявский Ю.Г., Рылов Л.И., Маслин Д.С., Комаров М.И. Определение обрабатываемости отливок. Литейное производство № 2, 1972.

2. Чернявский Ю.Г., Рылов Л.И., Колосков А.И., Шушлебин Б.А.

Разработка и исследование модификатора для тонкостенных отливок из серого чугуна. Сб. тезисов докладов Всесоюзного научно-технического семинара. Полтава, 1972.

3. Чернявский Ю.Г., Маслин Д.С., Рылов Л.И., Комаров М.И. Влияние отжига и модифицирования на обрабатываемость тонкостенных отливок из серого чугуна. Реф. сб-к "Технология машиностроения". Вып. 4, 1972.

4. Чернявский Ю.Г., Рылов Л.И., Шушлебин Б.А., Черноморец В.И., Колосков А.И. Применение циркония для модифицирования серого чугуна. Реф. сб-к "Технология машиностроения". Вып. 5, 1972.

5. Чернявский Ю.Г., Маслин Д.С., Комаров М.И., Рылов Л.И., Колосков А.И. Исследование влияния отжига на обрабатываемость тонкостенных отливок из серого чугуна. Сб-к тезисов докладов научно-технической конференции. Калуга, 1972.

6. Рылов Л.И., Колосков А.И., Чернявский Ю.Г. Выбор технологической пробы для определения склонности к отбелу серого чугуна в тонкостенных отливках. Сб-к тезисов докладов научно-технической конференции. Калуга, 1972.

7. Чернявский Ю.Г., Рылов Л.И., Колосков А.И., Шушлебин Б.А., Черноморец В.И. Разработка модификатора для тонкостенных отливок из серого чугуна. Сб-к тезисов докладов научно-технической конференции. Калуга, 1972.

8. Чернявский Ю.Г., Шушлебин Б.А., Черноморец В.И., Рылов Л.И. Комплексный модификатор. Авторское свидетельство № 389161 от 6 мая 1971 г. "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", № 29, 1973, с. 103.