

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к лабораторным работам

Составитель

И. К. КАЛЛИОПИН

Владимир 2003

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ»

Составитель
И.К.КАЛЛИОПИН

Владимир 2002

УДК 621.74
П80

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Ю.Д. Корогодов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Производство отливок из чугуна и стали: Метод. указания к ла-
П80 бораторным работам / Сост. И.К. Каллиопин; Владим. гос. ун-т. Вла-
димир, 2003. 22 с.

Содержат описание, оборудование, порядок выполнения лабораторных работ исследовательского характера и контрольные вопросы к ним. Настоящие работы имеют цель – привить будущим инженерам-литейщикам навык выполнения небольших исследовательских работ, необходимых для установления основных технологических параметров выплавки, модифицирования и разливки серого чугуна и стали для обеспечения качественных отливок. Составлены в соответствии со Стандартом специалиста.

Предназначены для специальности 110400 – литейное производство черных и цветных металлов.

Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.74

УДК 621.74

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Производство отливок из чугуна и стали» /Владим. гос. ун-т; Сост. И.К. Каллиоппин. Владимир, 2002. с.

Составлены в соответствии со Стандартом специалиста и предназначены для специальности 1104 - литейное производство черных и цветных металлов. Содержат описание, оборудование, порядок выполнения и контрольные вопросы для лабораторных работ исследовательского характера. Настоящие работы имеют целью привить навык будущим инженерам-литейщикам выполнять небольшие исследовательские работы, необходимые для установления основных технологических параметров выплавки, модифицирования и разливки серого чугуна и стали для обеспечения качественных отливок. Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Владимирского государственного университета.

Рецензент: канд. техн. наук. Ю.Д. Корогодов (Владимирский государственный университет).

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К лабораторным занятиям студенты допускаются после вводного инструктажа по технике безопасности, изучения безопасных методов и приемов работы и подписи в контрольном листе, удостоверяющей усвоение правил техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности.

При выполнении действий, не связанных с порядком выполнения лабораторных работ или с заданием преподавателя, а также при нарушении правил техники безопасности студент может быть отстранен от выполнения работ. Отработка пропущенных занятий проводится в порядке исключения в дополнительное время с разрешения заведующего кафедрой.

Студенты составляют индивидуальные письменные отчеты по каждой лабораторной работе и выполняют их в отдельной тетради или на скрепленных листах с титульной страницей. Отчет должен содержать:

- краткую теоретическую часть;
- описание лабораторной установки и методики исследования;
- результаты измерений и необходимые расчеты в форме таблиц, графиков, рисунков и т.д.;
- выводы по работе, сформулированные самостоятельно.

Лабораторная работа № 1

ПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Индукционная плавка является распространенным и прогрессирующим методом подготовки расплава при изготовлении отливок из серого

чугуна и постепенно вытесняет ваграночную плавку (возможность выплавки чугуна без контакта с коксом уменьшает содержание серы в отливках). Индукционная плавка обеспечивает возможность регулирования состава и температуры в широких пределах, позволяет накопить жидкий чугун в соответствии с емкостью печи или выпускать его малыми порциями, даёт хорошие результаты при работе в комплексе с другими печами в дуплекс-процессах особенно на жидкой завалке, допускает создание комбинированных процессов с использованием плазменно-дуговых и электронно-лучевых устройств, а также при вакуумировании.

Принцип нагрева в индукционных печах основан на возбуждении вихревых токов Фуко в металле, помещенном в индуктор (катушку), через который пропускают переменный электрический ток. Чем монолитнее и массивнее металлозавалка, тем эффективнее индукционный нагрев даже при использовании низких частот переменного тока (печи промышленной частоты - 50 Гц). Для печей малой вместимости (менее 100 кг) и при мелкокусковой завалке индукционный нагрев малоэффективен и для его повышения используют печи повышенной или высокой частоты (до 360 кГц). Особенностью индукционной плавки является ее невысокий КПД на стадии нагрева твердой кусковой шихты и резкое увеличение эффективности после расплавления металла (образование монолита в тигле). Поэтому экономические показатели существенно улучшаются при старте с твердой массивной болванкой, с жидким стартом, с плавкой на "болоте" ("зумпф") с предварительным разогревом шихты в газовых печах и др.

Недостатком индукционной тигельной плавки является небольшая площадь контакта расплава с холодным шлаком, поэтому проведение активных металлургических процессов, таких как дефосфорация, десульфурация и удаление углерода, ограничено. Поэтому индукционную плавку используют для расплавления, перегрева и доводки чугуна по температуре, а требуемый химический состав обеспечивают шихтовкой (подбором металлозавалки) и добавками специальных легирующих компонентов.

При плавке серого чугуна используют кислые набивные футеровки: молотый кварцит с добавкой 1,5 – 2,0 % борной кислоты в качестве связующего, реже обожженный (900 °С) кварцевый песок – 75 %, пылевидный кварц (маршаллит) – 25 % и то же связующее. Сухую футеровочную массу набивают в пространство между индуктором, закрытым листом асбеста, и специальным расплавляемым шаблоном. «Воротник» печи и сливной желоб футеруют песчано-глинистыми огнеупорными массами.

В тигель загружают высокоуглеродистую легкоплавкую крупнокусковую часть шихты – литейные чушковые чугуны, чугунный лом, возврат собственного производства. Нагрев завалки необходимо вести на максимальной мощности генератора с целью сокращения времени образования жидкой ванны и, следовательно, окисления твердого металла.

Сталь и мелкокусковую шихту задают после расплавления завалки, ферросплавы – незадолго до выпуска.

Поверхность расплавленного чугуна для предохранения от окисления присыпают кварцевым песком, а для разжижения шлака можно использовать известняк или лучше бой стекла. Увеличить содержание углерода в чугуне можно присадкой в завалку или на поверхность расплава электродного боя, молотого кокса и других карбюризаторов.

Температуру чугуна в печи можно определить оптическими пирометрами или термомпарами погружения, горячие спаи которых защищают кварцевыми сменными наконечниками.

Если жидкий чугун имеет высокую температуру, но обладает низкой текучестью, то в нем мало углерода и кремния, возможен отбел отливки. Модифицирование 75%-ным ферросилицием в ковше позволит устранить отбел и даст высокую марку чугуна в отливках. Если температура невысокая, а чугун имеет хорошую текучесть, то в нем много углерода и кремния (высокий углеродный эквивалент), отбела не ожидается, но марка чугуна не будет высокой. Если чугун «искрит», то в нем много марганца и высока вероятность отбела и низких свойств в отливках. Таким образом, используя визуальные наблюдения, замеры температуры, технологические пробы на жидкотекучесть и отбел, можно определить без экспресс-анализа химического состава подготовленность плавки к выпуску, предсказать качество отливок и принять меры по корректировке состава для обеспечения требуемых свойств чугуна в отливках.

Цель работы. Изучить особенности плавки чугуна в индукционной печи на твердой завалке, конструкцию и принцип действия печи, футеровку тигля для плавки чугуна, шихтовые материалы, температурный режим, шлаки, легирующие и модифицирующие материалы, технологию разлива чугуна, ковши, технологические пробы.

Оборудование. Печь ЛПЗ-67, потенциометр, термопары, колпачки, шнуровой асбест, песчано-глинистая масса, разливочные ковши вместимостью 5 и 20 кг, весы.

Технологические пробы. Оболочковые формы для заливки технологической пробы «клин», литейные формы для заливки ступенчатой пробы, литейная форма для заливки пробы на жидкотекучесть, проба на интервал кристаллизации, проба на линейную усадку, проба на объемную усадку.

Материалы. Для проведения работы следует использовать шихтовые материалы, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Шихтовые материалы для плавки чугуна*

Наименование	Марка	Содержание элементов, %					ГОСТ
		C	Si	Mn	P	S	
Литейный чугун	Л4	3,9 - 4,4	2,0 - 2,4	0,5 - 0,9	0,3	0,05	4832-80
Передельный чугун	ПЛ1	4,0	0,8 - 1,2	0,5 - 0,9	0,12	0,02	805-80
Лом серого чугуна	СЧ	2,8 - 3,3	1,5 - 2,2	0,6 - 1,0	0,1 - 0,3	0,04 - 0,15	—
Ферросилиций	ФС45	0,8	41,0 - 47,0	0,6	0,05	0,02	P50422-92
Ферросилиций	ФС75л	-	74,0 - 80,0	0,3	0,05	0,02	P50422-92
Ферромарганец	ФМн6	6,0 - 8,0	2,0	70,0 - 75,0	0,45	0,03	4755-91
Феррохром	ФХ8	6,6 - 8,0	2,0	Cr 65,0	0,05	0,08	4757-91
Лом стальной	Сталь 40	0,4	0,4	0,7	0,05	0,05	-

* Марки материалов и соответственно их химический состав могут быть изменены.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать шихту методом подбора. Данные занести в табл. 2.
2. Взвесить шихтовые материалы в соответствии с расчетом.
3. Ознакомиться с устройством печи, генератора, футеровки тигля, разливочных ковшей и термопар.

4. Загрузить шихту и приступить к плавке. В процессе плавки вести обязательный отсчет времени.
5. Подготовить литейные формы для заливки технологических проб.
6. Провести плавку по режиму, согласованному с преподавателем.
7. Измерить температуру чугуна в печи, залить экспрессные пробы на клин, изучить излом пробы, ввести в плавку корректирующие присадки.
8. Залить литейные формы.
9. Выбить отливки и проанализировать качество выплавленного чугуна и отливок.
10. Исследовать свойства чугуна на твердость.
11. Исследовать микроструктуру чугуна из различных зон ступенчатой пробы.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения об индукционной плавке.
2. Результаты расчета шихтовых материалов (табл. 2).

Таблица 2

Расчет шихты

Компоненты шихты	Доля компонентов в шихте, %	Содержание элементов, %									
		C		Si		Mn		P		S	
		В компоненте	В шихте	В компоненте	В шихте	В компоненте	В шихте	В компоненте	В шихте	В компоненте	В шихте
Чугун чушковый											
Лом чугуновый											
Лом стальной											
Ферросилиций											
Ферромарганец											
<i>Итого в шихте</i>											
<i>Угар элементов</i>											
<i>Итого в чугуне</i>											

3. Технология плавки чугуна.
4. Технология изготовления литейных форм и технологических проб.
5. Описание результатов работы: качество отливок по параметрам плавки и по параметрам литейной пробы.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое серый чугун?
2. Что такое белый чугун?
3. Как маркируют серые чугуны?
4. Какие способы плавок используют при изготовлении отливок из серого чугуна?
5. Каковы преимущества индукционной плавки в сравнении с ваграночной?
6. Каковы недостатки индукционной плавки?
7. Как устроена индукционная печь?
8. Как устроен генератор?
9. Какие типы генераторов используют при индукционной плавке?
10. Как устроена футеровка индукционной печи?
11. Какие шихтовые материалы используют при выплавке чугуна для отливок?
12. Что такое отбел, какими методами определяют его величину?
13. С какой целью заливают пробы на интервал кристаллизации?
14. Какими способами можно увеличить механические свойства чугуна в отливках?
15. С какой целью свойства чугуна исследуют на ступенчатых пробах?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ

Все элементы, входящие в химический состав серого чугуна, могут быть подразделены на элементы-графитизаторы и карбидообразующие

элементы. В порядке убывания графитизирующей способности эти элементы можно расположить следующим образом: Al, Si, C, Ni, Cu, P; в порядке увеличения карбидообразующей способности – Mn, Mo, Cr, V, S, B, Te.

Основными, кроме железа, элементами в чугуне являются углерод и кремний. Лучшими литейными свойствами (жидкотекучесть, усадка) и достаточно высокими механическими и другими эксплуатационными свойствами обладают чугуны эвтектического состава (4,3 % C). Однако кремний понижает температуру эвтектики и смещает эвтектическую точку влево, в область более низких значений углерода. Поэтому в присутствии кремния и других элементов степень соответствия чугуна эвтектической концентрации оценивают по углеродному эквиваленту

$$C_{\text{эк, \%}} = C\% + 0,3\text{Si}\% + 0,33\text{P}\% + 0,4\text{S}\% - 0,03\text{Mn}\%$$

или степени эвтектичности $C_{\text{э}} = 4,3 / C_{\text{эк}}$. Если $C_{\text{эк}} < 4,3 \%$, $C_{\text{э}} < 1$, чугун является доэвтектическим, при этом первичной фазой при кристаллизации является аустенит, приобретающий часто дендритную форму, и графит может приобрести междендритный характер расположения (часто нежелательно). Если $C_{\text{эк}} > 4,3\%$, $C_{\text{э}} > 1$, то первичные формы при кристаллизации – либо цементит первичный, либо графит. Эти выделения, как правило, имеют грубую пластинчатую форму, что также нежелательно для отливок.

При кристаллизации чугун, имеющий $C_{\text{эк}} = 4,3 \%$, $C_{\text{э}} = 1$, затвердевает в виде графито-аустенитной эвтектики при охлаждении с умеренной скоростью, где ведущая фаза – графит. Прорастая через расплав, он формирует скелет эвтектической колонии (эвтектическое зерно), размеры которой зависят от скорости охлаждения и модифицирующих присадок. Такая структура предпочтительна.

Оценить степень соответствия эвтектическому составу при плавке можно химическим экспресс-анализом, а также (и, возможно, лучше) с помощью экспресс-пробы на интервал кристаллизации, определяемого по результатам термографического анализа пробной отливки. Если на кривой охлаждения пробы фиксируется $t_{\text{ликв}} \neq t_{\text{сол}}$, $t_{\text{ликв}} - t_{\text{сол}} = \Delta t$, $\Delta t \neq 0$, то чугун по составу не равен эвтектическому и чем больше Δt , тем больше степень удаления от эвтектики. Если $\Delta t = 0$, $t_{\text{ликв}} = t_{\text{сол}}$, то чугун близок к эвтектическому составу.

Цель работы. Исследовать влияние химического состава по углероду и кремнию на структуру и механические свойства серого чугуна; освоить метод термографического экспресс-анализа для оценки степени эвтектичности чугуна.

Оборудование, приборы и материалы. См. лабораторную работу № 1.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать шихту методом подбора на $C_{\text{ЭК}} = 3,8 \%$.
2. Выплавить чугун рассчитанного состава.
3. Подготовить литейные формы и технологические пробы «клин», ступенчатые отливки, пробы на интервал кристаллизации, на жидкотекучесть и объемную усадку.
4. После расплавления и перегрева чугуна до $1380 - 1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ залить все технологические пробы по 1 шт.
5. Исследовать пробы на «клин» и результаты термографического анализа.
6. Подшихтовать плавку ферросилицием ФС45 до $C_{\text{ЭК}} = 4,0 - 4,1 \%$.
7. Провести вторичную заливку всех проб, поддерживая температуру в печи $1380 - 1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
8. Исследовать результаты повторной заливки с $C_{\text{ЭК}} = 4,0 - 4,1 \%$.
9. Подшихтовать остаток чугуна до $C_{\text{ЭК}} = 4,3 \%$.
10. Разлить металл по технологическим пробам и отливкам.
11. Провести измерение твердости на ступенчатых отливках.
12. Измерить результаты проб на жидкотекучесть.
13. Вырезать образцы для исследования микроструктуры из всех частей ступенчатых проб.
14. Сформулировать выводы о влиянии $C_{\text{ЭК}}$ на отбел, интервал кристаллизации, твердость, жидкотекучесть, на включения графита, цемента и металлическую основу чугуна по ГОСТ 3443-87.
15. Сформулировать выводы о влиянии скорости охлаждения на структуру и свойства чугуна при различных $C_{\text{ЭК}}$ по ступенчатым пробам.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения по исследуемому вопросу.

2. Методика проведения исследований.
3. Результаты измерений и анализов.
4. Обсуждение результатов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое эвтектика?
2. Как рассчитать углеродный эквивалент?
3. Как изменяется эвтектическая температура в зависимости от содержания кремния?
4. Как изменяется эвтектическая концентрация при увеличении концентрации кремния?
5. Как влияют на эвтектическую концентрацию марганец, фосфор?
6. Почему доэвтектические чугуны нежелательны для отливок?
7. Какова структура доэвтектических составов?
8. Как связаны (качественно) $C_{\text{эк}}$ и Δt по термографическим пробам?
9. Как степень эвтектичности влияет:
 - а) на жидкотекучесть,
 - б) усадку чугуна,
 - в) твердость отливок,
 - г) графитовые включения,
 - д) металлическую основу чугуна?
10. Почему твердость тонких стенок отливок больше, чем толстых?
11. Какой углеродный эквивалент можно рекомендовать для массивных и толстостенных отливок, а какой – для тонкостенных?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ФЕРРОСИЛИЦИЯ ФС75л НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ

Модифицированием называют процесс введения малых порций компонентов, приводящий к положительному изменению структуры и свойств литейного сплава без существенного изменения его химического состава. Присадки, приводящие к измельчению структуры, изменению формы

структурных составляющих, называют модификаторами. Добавки, вызывающие укрупнение, огрубление структуры, часто называют демодификаторами.

Различают модификаторы 1-го и 2-го рода. Модификаторы 1-го рода – это растворимые или малорастворимые легкоплавкие поверхностно-активные вещества, способные адсорбироваться на границах раздела фаз, растущих при кристаллизации и тем самым влияющих на скорость роста кристаллов или этих фаз.

Модификаторы 2-го рода – твердые, плохо растворимые тугоплавкие включения, создающие в расплаве новые границы раздела и тем самым способствующие образованию большого количества новых центров кристаллизации.

Продолжительность действия модификаторов, как правило, ограничена, и это отличает их (кроме эффективности) от микролегирующих присадок, которые растворимы в основе сплава, действуют не столько на структуру, сколько на состав и свойства твердых растворов.

Добавка ферросилиция ФС75л (0,2 – 0,3 %) в ковш при выпуске расплава чугуна из печи перед разливкой его в литейные формы позволяет измельчить включения графита, уменьшить или устранить отбел, повысить механические свойства серого чугуна в отливках. Другие марки ферросилиция (ФС45, ФС90), добавляемые в том же количестве по Si, действуют гораздо менее эффективно или вообще не действуют. Поэтому механизм воздействия ФС75л связан не только с тем, что кремний является сильным графитизирующим элементом. Известно, что ФС75л разных заводов-изготовителей действует с разной эффективностью. Возможно, что в состав этого ферросплава входят другие (кроме кремния и железа) примеси, которые играют ведущую роль в процессе модифицирования, например, алюминий, образующий нитриды алюминия AlN в чугуне, или кислород, создающий микроскопические включения SiO₂, которые являются модификаторами 2-го рода для графитовых включений, и кремний, способствующий графитизации, облегчает их зарождение и рост. Несмотря на тот факт, что модифицирующее влияние ФС75л широко известно, механизм его действия нуждается в изучении и исследовании. Это даст возможность объяснить действие других активных добавок кальция, иттрия, бария, бора, висмута, магния и РЗМ, используемых при чугунном литье.

Цель работы. Провести исследования влияния ферросилиция ФС75л на структуру отливок из серого чугуна и его механические свойства, оценить продолжительность действия модификатора и разработать рекомендации для рационального использования.

Оборудование, приборы и материалы. См. лабораторную работу № 1.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать шихту методом подбора на $C_{\text{эк}} = 4,1 - 4,2 \%$.
2. Подготовить литейные формы и технологические пробы (клин, ступенчатую, интервал кристаллизации по 4 шт.).
3. Выплавить чугун рассчитанного состава.
4. Перегреть расплав до $1380 - 1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и залить немодифицированный чугун во все пробы.
5. В ковш засыпать ФС75л в количестве $0,3 \%$ от веса оставшегося металла в виде кусков размером $3 - 5 \text{ мм}$.
6. Выпустить весь чугун в ковш, начать хронометраж и залить по одной пробе.
7. Остаток металла слить в тигель печи на выдержку и поддержание температуры.
8. Через 5 мин залить пробы.
9. Через 10 мин залить пробы оставшимся чугуном.
10. Провести исследования и анализ всех проб.
11. Построить графики зависимости «свойство – время» после модифицирования.

Содержание отчета

1. Литературные данные.
2. Методика исследования.
3. Результаты эксперимента.
4. Обсуждение результатов.
5. Выводы и рекомендации.

Контрольные вопросы

1. Что называют модифицированием и модификаторами?
2. Каков принцип действия модификаторов 1-го рода?

3. Каков принцип действия модификаторов 2-го рода?
4. С какой целью используют модифицирование?
5. Чем модифицирование отличается от микролегирования?
6. Как присадка ферросилиция влияет:
 - а) на отбел,
 - б) твердость,
 - в) интервал кристаллизации,
 - г) включения графита,
 - д) механические свойства серого чугуна?

Лабораторная работа № 4

ПЛАВКА СТАЛИ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ.

РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ

Индукционную плавку стали достаточно широко используют в литейном производстве, особенно при изготовлении мелких отливок. Вместимость печей колеблется в пределах 60 – 10 000 кг (ИСТ-0,06 – ИСТ-10), однако плавки массой более 3 т проводят в электродуговых, а более 20 т – в мартеновских печах.

Футеровка кислых печей – кварцит или смесь кварцевого песка с маршаллитом с добавкой 1,0 - 1,5 % борной кислоты (большие присадки уменьшают огнеупорность). Печи для основных процессов футеруют увлажненным магнезитом без связующего. Такие футеровки используют при выплавке сталей, содержащих большое количество марганца, или при выплавке специальных легированных сталей.

Основной задачей сталевара является выбор такого режима плавки, который обеспечит требуемый химический состав стали, главным образом, по углероду и другим легирующим элементам, заданную температуру на выпуске и минимальное содержание вредных примесей, газов и неметаллических включений. В процессе плавки твердая шихта, находящаяся в тигле, начинает окисляться задолго до расплавления, образовавшаяся окалина поступает в шлак и способствует активному выгоранию углерода, усиливающемуся по мере нагрева жидкой стали. Поэтому черный из-за большого количества окислов железа шлак, образовавшийся при расплав-

лении, скачивают и зеркало металла покрывают слоем кварцевого песка для уменьшения насыщения стали газами из атмосферы. Для разжижения шлака можно использовать малые добавки известняка.

Минимальное содержание вредных примесей серы и фосфора при индукционной плавке обеспечивают шихтовкой, т.е. подбором загружаемых в печь материалов с известной концентрацией этих элементов. Металлургическое удаление серы и фосфора при индукционной плавке ограничивается малой поверхностью раздела металл - шлак и низкой температурой шлака, поэтому применяют его крайне редко.

Особенностью разливки стали является необходимость выпуска из печи выплавленного металла в один прием (редко в два-три, следующих друг за другом), так как оставшаяся в печи сталь меняет свой состав, температуру и свойства. Поэтому к моменту окончания плавки на заливочном участке должно быть накоплено необходимое количество форм для разливки всей плавки.

Крупные плавки разливают с использованием стопорных ковшей, а мелкие – из открытых ковшей. Чайниковые ковши и ковши с перегородками не применяют, так как сталь в них быстро охлаждается. Это сильно увеличивает вероятность шлаковых засоров при разливке стали. Поскольку содержание углерода в сталях в 5 - 20 раз меньше, чем в чугунах, эти сплавы склонны к поглощению кислорода из футеровки, шлаков и атмосферы. Он является вредной примесью, вызывающей охрупчивание стали, повышенную концентрацию неметаллических включений, шлаковых засоров и газовых раковин. Процесс удаления кислорода из стали называют раскислением. Если раскисление осуществляют за счет реакции кислорода с углеродом:



то образующийся газ вызывает эффект барботажа, называемого «кипом». В печи такой процесс не только не опасен, но даже полезен и часто планируется преднамеренно, так как всплывающие пузырьки СО захватывают неметаллические включения, плены и растворенные газы и тем самым очищают сталь. Взаимодействие кислорода и углерода в литейных формах и затвердевающих отливках недопустимо, поскольку приводит к возникновению газовых раковин в твердом металле. Поэтому перед выпуском из печи сталь должна быть тщательно раскислена. Элементами-раскислителями (в порядке увеличения активности) являются марганец, кремний, алюминий.

Процесс раскисления можно провести от слабого раскислителя к сильному, т.е. задавать в плавку элементы в обозначенном порядке. В этом случае последовательно образуются продукты раскисления MnO , SiO_2 и Al_2O_3 , которые должны быть удалены в шлак.

В некоторых случаях раскисление проводят от сильного раскислителя к слабому, т.е. в обратной последовательности, и в продуктах образуются только включения Al_2O_3 . Следовательно, технология раскисления влияет на тип, форму и размеры неметаллических частиц и шлаковых включений.

Степень раскисленности стали можно определить с использованием технологической пробы «стаканчик». Если при затвердевании стали в верхней части «стаканчика» формируется глубокая усадочная раковина, то сталь раскислена нормально. Если наблюдается выделение пузырьков и нарушена усадка (выпуклый мениск), то сталь раскислена недостаточно. Примерное содержание углерода можно оценить по искре при обработке пробы на наждаке. При низком содержании углерода $\approx 0,2\%$ искра длинная и желтая, при увеличении содержания углерода искра становится короче и краснее. Температуру жидкой стали определяют пирометрами или термопарами в комплекте с потенциометрами.

Цель работы. Изучить особенности плавки углеродистой стали в индукционной печи, футеровку тигля, шихтовые материалы, температурный и шлаковый режимы плавки, подготовку стали к выпуску; опробовать различные варианты технологии раскисления, экспресс-анализы выплавленного металла, технологию разливки в литейные формы.

Оборудование. Печь ЛПЗ-67, термическая печь, потенциометр, вольфрам-рениевые термопары, колпачки кварцевые, разливочные ковши и ложки.

Технологические пробы. Литейные формы для заливки пробы на жидкотекучесть, проба «стаканчик», треновидная проба.

Материалы. Сталь углеродистая 40Л, 50Л, чугун, ферромарганец, ферросилиций, алюминий, силикокальций.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить шихту и загрузить в печь для плавки.

2. Подготовить пробы на жидкотекучесть, «стаканчик» по 3 шт. и формы для заливки литых образцов.
3. Провести плавку до полного расплавления, снять образовавшийся шлак и навести новый кварцевым песком.
4. После охлаждения расколоть снятый шлак, определить его цвет и раскраску.
5. Провести «кип» в течение 10 мин и успокоить плавку раскислительной смесью.
6. Нагреть сталь до температуры, указанной преподавателем.
7. Залить пробу «стаканчик» и проанализировать результат раскисленности.
8. Выпустить часть плавки в ковш вместимостью 10 кг. Провести раскисление алюминием (на дно ковша) из расчета 3 кг на тонну. Затем на поверхность стали в ковш задать ферросилиций из расчета 0,3 % Si и ферромарганец 0,5 % Mn.
9. Залить пробы на раскисленность и на жидкотекучесть.
10. Остаток стали в печи раскислить в противоположной последовательности. В печь задать ферромарганец 0,6 % Mn и ферросилиций 0,4 % Si, на дно ковша при выпуске – алюминий 2 кг на тонну.
11. Залить пробы на раскисленность, жидкотекучесть и механические свойства.
12. Исследовать микроструктуры всех «стаканчиков» и механические свойства литых образцов.

Содержание отчета

1. Краткие сведения об индукционной плавке стали.
2. Описание технологических проб.
3. Результаты исследования способов раскисления стали по жидкотекучести, усадке, количеству и форме неметаллических включений на нетравленных шлифах.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Из каких материалов изготавливают футеровку:
 - а) кислых индукционных печей,
 - б) основных печей?

2. Почему в сталях больше кислорода, чем в чугунах?
3. Что такое железистый шлак?
4. Какими материалами наводят:
 - а) кислый шлак,
 - б) основной шлак?
5. Что такое «кип»?
6. Каково влияние кипа на качество выплавляемой стали?
7. Что такое раскисление?
8. Как раскисляют сталь от слабого раскислителя к сильному?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ДЛЯ ОТЛИВОК. ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ СТАЛЬНОГО ЛИТЯ

При кристаллизации стали формируется первичная кристаллическая структура, имеющая ярко выраженный дендритный характер. Эту структуру нельзя изменить никакой последующей термообработкой, поэтому модифицирование, позволяющее уменьшить размеры первичных зерен и увеличить их число в единице объема, имеет важное значение. Различают модификаторы 1-го рода – это поверхностно-активные металлы, адсорбирующиеся на границах раздела фаз. Модификаторами 2-го рода являются твердые нерастворимые частицы, создающие в расплаве готовые поверхности раздела, за счет чего увеличивается число центров кристаллизации. Лучшие результаты получают при совместном использовании и тех и других, например, нитридов титана или циркония в качестве модификаторов 2-го рода, и добавок лития, магния, кальция, РЗМ и др. в качестве модификаторов 1-го рода.

Другой вид модифицирования – изменение формы неметаллических включений в стали. Основным источником последних являются сульфиды марганца, которые имеют угловатую форму, за счет чего могут быть концентраторами напряжений. Присадка силикокальция в количестве 0,3 - 0,5 % способствует образованию сульфидов в более округлой, глобулярной форме, что увеличивает пластичность и трещиностойкость особенно при низких температурах.

Вторичная структура, формирующаяся при превращении аустенита в перлит и феррит, в литом состоянии имеет игольчатую, пластинчатую, грубую форму. Эта *видманитеттова структура* придает стали низкие пластические свойства. Термообработка (для крупных отливок – отжиг, для мелких – нормализация) преобразует ферритно-перлитную структуру в более мелкую, равноосную, с мелкими компактными зернами перлита и феррита, что существенно увеличивает относительное удлинение и ударную вязкость.

Цель работы. Изучить способы модифицирования стали для отливок, формирование неметаллических включений и первичной структуры, способы модифицирования первичного зерна, особенности перлитно-ферритной структуры в литом состоянии и после термообработки, режимы термообработки стальных отливок.

Оборудование, приборы и материалы. См. лабораторную работу № 4.

Порядок выполнения работы

1. Выплавить сталь марки 40Л.
2. Раскислить сталь ферромарганцем, ферросилицием (в печи) и алюминием (на дно ковша) в количестве 1,5 кг на тонну.
3. Выпустить примерно половину плавки в ковш, залить «стаканчик» и литые образцы для механических испытаний.
4. При выпуске оставшейся части плавки ввести то же количество алюминия на дно ковша и дополнительно 0,3 % силикокальция в ковш под струю выпускаемой стали.
5. Залить «стаканчик» и литые образцы для механических испытаний.
6. Вырезать образцы для исследования микроструктуры до термообработки, в литом состоянии.
7. Провести нормализацию выплавленных образцов.
8. Исследовать микроструктуру и механические свойства после термообработки.

Содержание отчета

1. Краткое описание структур и неметаллических включений в угле-

родистых сталях.

2. Способы и назначение модифицирования.
3. Формирование перлитно-ферритной структуры.
4. Влияние термообработки на структуру и свойства отливок.
5. Результаты исследования свойств.

Контрольные вопросы

1. Каково строение первичного зерна углеродистой стали?
2. Как изменить размеры первичного зерна?
3. Каков механизм действия модификаторов 1-го рода?
4. Каков механизм действия модификаторов 2-го рода?
5. Какие добавки являются наиболее активными?
6. Какие виды включений имеются в сталях?
7. Как изменить форму неметаллических включений?
8. Что такое видманштеттовая структура?
9. Какие виды термообработки используют для стального литья?
10. Как изменяются механические свойства стали после термообработки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. - 576 с.
2. *Нехендзи Ю..А.* Стальное литье. - М.: Металлургиздат, 1948. – 766 с.
3. Справочник по чугуному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. – М.; Л.: Машгиз, 1961. - 900 с.
4. *Шульте Ю.А.* Электрометаллургия стального литья. - М.: Металлургия, 1970. – 223 с.
5. Справочник литейщика. Фасонное стальное литье / Под ред. Н.Н. Рубцова. – М.: Машгиз, 1962. – 611 с.
6. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 56 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
Лабораторная работа № 1	
ПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ.....	3
Лабораторная работа № 2	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ.....	8
Лабораторная работа № 3	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ФЕРРОСИЛИЦИЯ ФС75л НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ.....	11
Лабораторная работа № 4	
ПЛАВКА СТАЛИ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ. РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ.....	14
Лабораторная работа № 5	
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ДЛЯ ОТЛИВОК. ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ.....	18
Библиографический список.....	20

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к лабораторным работам

Составитель
КАЛЛИОПИН Иван Константинович

Отв. за выпуск – зав. кафедрой профессор В.А. Кечин

Редактор И.А. Арефьева
Корректор В.В. Гурова
Компьютерная вёрстка И.С. Жаров

ЛР № 020275. Подписано в печать 05.03.03
Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,53. Тираж 100 экз.
Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.