Н399401

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

На правах рукописи

КОЗЛОВ Анатолий Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВКИ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ ТРИПЛЕКС-ПРОЦЕССОМ НА ЛИТЕЙНЫЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА

(05.16.04.- Литейное производство)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1982

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте литейного машиностроения, литейной технологии и автоматизации литейного производства

Научный руководитель:

Лауреат Государственной премии СССР
кандидат технических наук, доцент П.П.Жевтунов

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор А.А.Жуков
кандидат технических наук Н.К.Ложко

Ведущее предприятие – Каунасский литейный завод "Центролит"

Защита диссертации состоится "___"_____1982г. на заседании специализированного совета К.053.15.13 Московского ордена Ленина, орде
Трудового Красного Знаме
ни Н.Э.Баумана по адресу

Ваши отзывы в 2-х э
сим выслать по указанном

С диссертацией можн
имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разосл

Ученый секретарь с
кандидат техническ

М 399401

Д- 90348

Типс

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Решениями XXVI съезда КПСС перед промышленностью поставлена задача дальнейшего повышения качества выпускаемой продукции с одновременной заменой ручных трудоемких операций высокомеханизированными и автоматизированными агрегатами.

Комплексное решение поставленной задачи вызывает необходимость внедрения в литейное производство автоматизированных формовочных линий, чугуноплавильных агрегатов, обеспечивающих наличие больших объемов жидкого металла готового к употреблению, автоматических процессов заливки литейных форм расплавом с заданными температурой и химическим составом, эффективных процессов модифицирования чугуна.

Перспективным технологическим процессом получения высококачественного чугуна для условий крупносерийного и массового производства отливок является выплавка чугуна в индукционных печах триплекс-процессом. Первичный плавильный агрегат – индукционная тигельная печь обеспечивает необходимый перегрев жидкого чугуна и получение заданного химического состава, что важно для достижения высоких физико-механических свойств чугуна. Вторичный плавильный агрегат – канальная индукционная печь выполняет роль накопителя готового к употреблению жидкого чугуна с заданными параметрами и обеспечивает бесперебойную выдачу на заливочный участок. Третий агрегат – автоматическая заливочная установка на базе индукционной канальной печи обеспечивает поддержание заданной температуры расплава и автоматизацию процесса заливки литейных форм на конвейерах и линиях.

В настоящее время при электроплавке чугуна основное внимание уделяется развитию моно- и дуплекс-процессов. В отечественной и зарубежной литературе рекомендации по технологии плавки и модифицирования при выплавке чугуна в индукционных печах триплекс-процессом редко встречаются и они противоречивы.

Изучение и разработка технологического процесса плавки триплекс-процессом и модифицирования чугуна, обеспечивающего получение высококачественных отливок при одновременном улучшении условий труда и охраны окружающей среды, являются весь-

№ 399401

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1399401
Козлов А.В.Исследование вл

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

ма актуальными и согласуются с основными направлениями развития народного хозяйства и Постановлениями директивных органов.

Цель работы. Разработка технологического процесса плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом для производства тонкостенных отливок с заданными механическими свойствами без структурно-свободного цементита.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработаны технологические параметры плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом, обеспечивающие получение отливок деталей автомобиля типа коллектор, гильза цилиндра, диск сцепления и т.п. с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

2. Проведены термодинамические расчеты окислительно-восстановительных реакций O_2, C, Si и Mn, протекающих при плавке чугуна в индукционных тигельных и канальных печах.

3. Проведены расчеты растворения частиц модификатора в расплаве чугуна.

4. Разработаны технологические параметры процесса модифицирования чугуна и устройства для ввода модификаторов, обеспечивающие получение тонкостенных отливок без структурно-свободного цементита в литом состоянии.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- результаты исследований взаимосвязи между перегревом чугуна в канале индукционной печи, протеканием окислительно-восстановительных реакций C, Si и Mn и повышенным угаром C в индукционных канальных печах.

- установленные закономерности изменения химического состава, литейных и механических свойств чугуна от термовременных параметров процесса плавки.

- теоретические основы и экспериментальные данные о влиянии размера модификатора на механические и литейные свойства чугуна.

- состав модификатора на основе кремния и РЗМ, способ модифицирования чугуна в процессе заливки литейных форм при получении тонкостенных отливок из серого чугуна с заданными

свойствами без структурно-свободного цементита в литом состоянии.

Научная новизна. Установлен механизм окисления C, Si, Mn в серых чугунах при плавке в индукционных тигельных и канальных печах. Термодинамическими расчетами показано и экспериментально подтверждено влияние температуры расплава и длительности проведения плавки на изменение химического состава чугуна и его литейные и механические свойства.

Теоретически и экспериментально обосновано влияние перегрева расплава в канале индукционной печи на механические и литейные свойства чугуна. Показано, что перегрев чугуна в канале индукционной печи способствует развитию окислительно-восстановительных реакций O_2, C, Si и Mn, что позволяет объяснить повышенный угар C в индукционных канальных печах. Уточнены термодинамические параметры химических реакций, протекающих при плавке чугуна.

Теоретически обоснован выбор состава модификатора. Разработаны устройства для модифицирования чугуна. Показано, что при модифицировании в струе жидкого металла механические свойства чугуна увеличиваются на 1-2 марки.

Расчетным путем установлено и экспериментально подтверждено влияние размера модификатора на механические и литейные свойства чугуна при модифицировании в струе жидкого металла.

Показано, что максимальный эффект модифицирования ферросилицием ФС 75 проявляется в первые 15-30 с., что обеспечивается при модифицировании расплава в струе при заливке литейных форм.

Практическая ценность. Результаты проведенных исследований позволили разработать технологический процесс плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом, обеспечивающий получение чугунных отливок с заданными механическими и эксплуатационными свойствами.

Разработаны устройства для модифицирования жидкого чугуна непосредственно в струе при заливке литейных форм с применением пневмостопорных и пневматических установок на базе индукционных канальных печей, позволяющие снизить расход модификатора в 2-5 раз.

Реализация работы в промышленности. Результаты исследований внедрены на Верхне-Салдинском металлообрабатывающем заводе им. В.И.Ленина при производстве отливок деталей автомобиля. Экономический эффект от внедрения составил 245 тыс.руб. в год.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на: I Всесоюзном научно-техническом съезде литейщиков, г.Минск, 1978г.; Всесоюзной конференции литейщиков, г.Пенза, 1980г.; научно-техническом семинаре, г.Свердловск, 1980г.; областном семинаре, г.Пенза, 1981г.; научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация литейных процессов" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1978, 1979, 1980 и 1981 г.г.

Публикация. По теме диссертации опубликовано 7 научных статей, получено 3 авторских свидетельства на изобретения.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 125 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с 29 таблицами и 37 рисунками, выводов, библиографического списка из 135 наименований и приложений.

Методика проведения исследования

Объектом исследования были серые чугуны с пластинчатым графитом с углеродным эквивалентом $C_э$= 3,6÷4,25%. Чугуны выплавляли в индукционных печах триплекс-процессом: индукционная тигельная печь типа ИЧТ-10 - индукционная канальная печь типа ЛФР-15 - заливочная установка на базе индукционной канальной печи типа ЛФР-2. При сравнении свойств чугунов, выплавленных триплекс- и дуплекс-процессами, в последнем случае чугун выплавляли в вагранке производительностью 5 т/ч - индукционной тигельной печи частотой 1000 гц, типа ОКБ 281, емкостью 1,0 т. В качестве шихтовых материалов применяли стальные отходы, возврат собственного производства, чушковые литейные и передельные чугуны, графитовый порошок, ферросилиций ФС 75 и ферромарганец ФМп 78.

Температуру жидкого чугуна замеряли термопарами погружения ТПР-1418М и ТПР-2075 с автоматической записью на КСП-4. Замер температуры в заливочной установке ЛФР-2 осуществляли

пирометрами с лейкосапфировыми световодами типа АПИР-С.

Концентрацию химических элементов в чугуне определяли на приборах "Леко", АН-7529, "Квантовак" - 31000.

Содержание кислорода в чугуне исследовали на газоанализаторах "Леко" и "Бальцерс".

Предел прочности при растяжении, твердость, склонность чугуна к отбелу и микроструктуру чугуна исследовали по стандартным методикам.

Для теоретических расчетов окисления C, Si и Mn определяли активность кислорода в чугуне методом Э.Д.С.

Математические расчеты проводились на ЦВМ.

Исследование влияния физико-химических процессов, протекающих в индукционных печах при плавке чугуна триплекс-процессом, на механические и литейные свойства чугуна

Сравнительные исследования плавки чугуна дуплекс- и триплекс-процессом показали, что чугун, выплавленный в индукционных печах триплекс-процессом, обладает повышенной прочностью, но при этом содержит большее количество кислорода. Это обстоятельство приводит к интенсификации протекания окислительно - восстановительных процессов, которые определяют технико-экономические показатели процесса плавки, стабильность химического состава чугуна по основным химическим элементам и, соответственно, микроструктуру и свойства чугуна в отливках.

В связи с этим, для рассмотрения возможности протекания окислительно-восстановительных реакций C, Si и Mn при плавке чугуна в индукционных печах триплекс-процессом, вычисляли для каждой реакции энергию Гиббса ΔG, которая позволяет определить направление протекания вышеуказанных реакций.

Окисление основных компонентов чугуна - C, Si и Mn рассматривалось на следующих реакциях:

$$[C] + \tfrac{1}{2}[O_2] \rightleftharpoons CO\uparrow, \quad (1)$$

$$\tfrac{1}{2}[Si] + \tfrac{1}{2}[O_2] \rightleftharpoons \tfrac{1}{2}(SiO_2), \quad (2)$$

$$[Mn] + \tfrac{1}{2}[O_2] \rightleftharpoons (MnO). \quad (3)$$

Активность кислорода в расплаве чугуна с углеродным эквивалентом $C_э$ = 3,6 и 4,25 % определяли экспериментальным и расчетным методами. Активность C, Si и Mn в расплаве определяли расчетным методом с использованием параметров взаимодействия при температурах I573, I673 и I773 К.

В интервале температур расплава от I573 до I773 К и концентраций элементов: C = 3,0-3,5 %, Si = 2,0-2,5 %, Mn = = 0,5-I,0 % проведены исследования и анализ изменения энергии Гиббса ΔG при плавке чугуна в индукционных печах: ИЧТ-I0, ЛФР-I5 и ЛФР-2. На основании исследований и расчетов определены зависимости энергии Гиббса ΔG реакций (I-3) от температуры перегрева чугуна.

Анализ зависимостей показал, что в исследуемом интервале температур расплава одновременно протекают реакции окисления C, Si и Mn. Однако при температуре I573 К преимущественно будет окисляться Si, а при температуре I673 К и выше - C.

Экспериментально установлено, что температура расплава в канале индукционной печи превышает температуру жидкого металла в ванне на I00-I25°. В связи с этим металл в каналах печей ЛФР-I5 и ЛФР-2 перегревается соответственно до температур I758 - I8I8 К и I693 - I743 К, при которых протекание реакции окисления C интенсифицируется.

Из анализа зависимостей $\Delta G - T$ реакций окисления компонентов чугуна следует, что угар химических элементов при плавке чугуна в индукционных печах зависит от последовательности загрузки ферросплавов и карбюризатора в печь.

Для определения оптимальных температур расплава, при которых необходимо вводить ферросплавы и карбюризатор в печь, исследовали реакцию восстановления кремния углеродом:

$$(SiO_2) + 2[C] \rightleftharpoons [Si] + 2CO\uparrow \qquad (4)$$

Температуру равновесия $T_р$ реакции (4) определяли по формуле

$$T_р = \frac{32000}{17{,}68 - \lg \frac{[Si]}{[C]^2}} \qquad (5)$$

Рассчитанные по уравнению А.Д.Крамарова (5) значения температур равновесия реакции (4) для концентраций C = 3,0% и Si = 2,0%; C = 3,5% и Si = 2,5% равны T_p=1745 К и 1742 К соответственно, что на 100-130° выше по сравнению с температурой, определенной графически при анализе зависимостей энергии Гиббса ΔG реакций (1-3).

Из этого следует, что для раскисления расплава чугуна преимущественно углеродом достаточно перегревать чугун до температуры 1773 - 1793 К, но не до 1803 - 1823 К, как рекомендовалось ранее. При этом снижение температуры перегрева расплава способствует уменьшению расхода электроэнергии и увеличению срока службы футеровки.

Общий характер зависимостей равновесной температуры реакции (4) от концентраций C и Si в чугуне сохраняется в обоих случаях, т.е. при повышении содержания Si в чугуне T_p повышается, тогда как при повышении углерода она значительно снижается.

Перегрев чугуна ниже T_p приводит к более интенсивному окислению Si и к увеличению содержания SiO_2 в чугуне, что способствует снижению механических свойств чугуна. При применении окисленных шихтовых материалов при плавке на раскисление чугуна расходуется значительное количество Si и Mn. В связи с этим, ферросплавы целесообразно вводить в расплав после его перегрева на 120-140° выше T_p реакции восстановления SiO_2 углеродом. При таком перегреве чугуна проходят реакции восстановления Si, Mn и Fe из окислов в основном углеродом, вводимым в шихту в виде карбюризатора, который по стоимости значительно дешевле ферросплавов. При этом, кроме очищения расплава от двуокиси кремния, окиси марганца, происходит дегазация чугуна и растворение графитных комплексов, что приводит к уменьшению влияния " наследственных" свойств шихтовых материалов.

Для подтверждения теоретических исследований были проведены эксперименты, в которых углеродосодержащие добавки вводили в печь вместе с шихтой, а ферросплавы как вместе с шихтой, так и на зеркало жидкого чугуна.

Установлено, что при вводе углеродосодержащих добавок и ферросплавов с шихтой угар *C*, *Si* и *Mn* составляет 13–18%, 24–28% и 42–50% соответственно. При вводе углеродосодержащих добавок в завалку вместе с шихтой, а ферросплавов после перегрева до температуры 1753–1773К и охлаждения чугуна до 1723–1743 К угар *C* повысился до 30%, а угар *Si* и *Mn* уменьшился до 4–7% и 15–18 % соответственно.

Влияние технологических параметров плавки в индукционных печах триплекс-процессом и модифицирования на механические свойства и структуру чугунных отливок

Исследовали влияние состава шихты на механические свойства и отбеливаемость чугуна. С применением корреляционного метода установлено, что более высокими свойствами обладают чугуны, выплавленные из шихт на основе стальных отходов, но при этом склонность чугуна к образованию отбела в отливках несколько выше, чем у чугунов, выплавленных на основе литейного и передельного чушковых чугунов. Поэтому, учитывая эти обстоятельства, а также специфику массового производства отливок и требования к чугуну, рекомендован следующий состав шихты для выплавки серого чугуна: литейный чушковый чугун Л3 до 30%, стальные отходы ≥ 30%, возврат собственного производства 40–45 %.

Установлено, что для стабилизации заданных свойств чугуна необходимо проводить перегрев расплава в индукционных тигельных печах ИЧТ-10. На основании расчета и экспериментов определена оптимальная температура перегрева расплава равная 1773– 1793 К.

Статистический анализ 120 плавок чугуна триплекс-процессом при непрерывной выдаче жидкого чугуна на заливку литейных форм на линиях показал, что в ИКП чугун усредняется как по химическому составу, так и по температуре. Поэтому триплекс-процесс плавки чугуна в индукционных печах позволяет стабильно получать чугуны с заданными химическим составом и температурой, что обеспечивает стабилизацию условий модифицирования, микроструктуры и свойств чугуна в отливках.

Проведены исследования влияния длительности выдержки

расплава в течение 54 часов в ИКП, что соответствует периоду нахождения металла в печах в выходные и праздничные дни.

Установлено, что при длительной выдержке снижаются механические свойства чугуна вследствие укрупнения графитных включений и увеличения в металлической основе доли феррита. Угар *C* в ИКП ЛФР-15 и ЛФР-2 достигает 8 и 10% соответственно. Угар *Si* в обеих печах не превышает 2%, что подтверждает теоретические исследования окислительно-восстановительных реакций.

Более высокий угар *C* в ИКП ЛФР-2 обусловлен разностью в объемах металла, находящегося в печах, что вызывает многократное попадание расплава в зону больших перегревов в канале печи, где температура расплава выше температуры реакции восстановления кремния углеродом. Кроме этого в ИКП ЛФР-2 контактируемая с атмосферой поверхность жидкого металла в сифонах соизмерима с поверхностью металла в основной ванне печи и поэтому через открытые каналы сифонов поступает дополнительное количество кислорода, который существенно влияет на ход окислительно-восстановительных процессов. Эти процессы имеют закономерный характер.

Рекомендованы следующие технологические параметры при длительной выдержке чугуна в ИКП ЛФР-15: ИКП должна полностью заполняться жидким металлом, в котором содержание *C* и *Si* должно быть выше на 6-8% и 2-2,5% соответственно, чем требуется по технологии. В ИКП ЛФР-2 следует оставлять минимальное количество жидкого чугуна, т.к. восстановить химический состав чугуна и его свойства после длительной выдержки практически невозможно.

В ИКП расплав теряет готовые центры графитизации и поэтому его обязательно следует модифицировать с целью получения качественных чугунных отливок.

Проведенные исследования способов ввода модификатора: на зеркало жидкого металла в заливочном желобе; на струю металла при заливке в форму; в ковш перед заливкой металла в заливочное устройство; в ковш перед заливкой металла в заливочное устройство с дополнительным модифицированием на струю металла при заливке в форму показали, что они не обеспечивают получение стабильных свойств чугуна в отливках.

Исследованиями времени действия модификаторов: ферросилиция ФС 75, комплексного модификатора а.с. № 602587, "Баксира", Сцемиш-3, СМЦ РЗМ-2 установлено, что эффект модифицирования ферросилицием ФС 75, СМЦ РЗМ-2 и Сцемиш-3 пропадает через 18, 12 и 8 минут соответственно. Поэтому при длительной выдержке модифицированного чугуна в заливочной установке ЛФР-2 не обеспечивается стабильность заданных свойств чугуна в отливках без отбела даже при применении эффективных модификаторов типа КМ и "Баксир".

С целью стабилизации механических свойств и получения тонкостенных отливок без отбела при применении автоматических заливочных установок на базе индукционных канальных печей разработаны устройства для ввода модификатора непосредственно в струю расплава при заливке литейных форм (а.с.№ 569387 и № 634840).

Установлено, что эффективность модифицирования зависит от фракционного состава модификатора.

Расчетами показано, что нагрев частиц модификатора при вводе его в расплав происходит за несколько долей секунды. Время же растворения составляет несколько секунд и возрастает с увеличением диаметра частиц модификатора. Поэтому, чем больше массовая скорость заливки литейных форм, тем мельче должен быть модификатор . Для массовой скорости заливки 3,3кг/с, что характерно для условий массового производства автомобильных отливок, необходимо применять модификатор с размерами частиц 1,0-2,5 мм при вводе его в струю расплава.

При модифицировании в струе предел прочности при растяжении выше на 20-40 МПа по сравнению с вводом модификатора в ковш перед заливкой расплава в заливочную установку.

По специально разработанной методике определен временной интервал максимального проявления эффекта модифицирования ферросилицием ФС 75 равный 15-30 с ., что обеспечивается при вводе модификатора в струю жидкого чугуна.

Разработана номограмма для определения массовой скорости

ввода модификатора в струю жидкого чугуна в зависимости от величины отбеливаемости чугуна, общего расхода модификатора и скорости заливки чугуна в литейные формы металлоемкостью от 10 до 100 кг. Применение номограммы дает возможность оптимизировать процесс модифицирования чугуна при заливке литейных форм на автоматических линиях и конвейерах.

При определении зависимостей свойств чугуна от температуры модифицирования, углеродного эквивалента и количества вводимого модификатора применялся метод планирования экспериментов. Получены математические модели, связывающие предел прочности при растяжении и величину отбела с температурой модифицирования, углеродным эквивалентом и количеством вводимого модификатора.

Анализ полученных уравнений регрессии показал, что химический состав чугуна при модифицировании в струе расплава оказывает меньшее влияние на изменение механических свойств и величины отбела по сравнению со способом модифицирования в ковше перед заливкой чугуна в заливочную установку ЛФР-2. При этом следует отметить, что разница в получении механических свойств с углеродным эквивалентом $C_э$ = 3,6% и $C_э$ = 4,0% составляет 15–20 МПа, в то время как при модифицировании в ковше перед заливкой чугуна в заливочную установку ЛФР-2 это различие составляет 30–40 МПа. Меньшее влияние химического состава на механические свойства чугуна при модифицировании в струе расплава объясняется наличием приблизительно одинакового количества активного кислорода в чугунах с углеродным эквивалентами $C_э$ = 3,6 и 4,25% при плавке в индукционных печах триплекс-процессом. Активный кислород может вступать во взаимодействие с химическими компонентами модификатора, в частности, с кремнием, который образует соединения SiO_2, выполняющие роль центров кристаллизации чугуна. Поэтому способ модифицирования в струе расплава обеспечивает высокие механические свойства во всем диапазоне изменения углеродного эквивалента чугуна.

На основании исследований установлено, что оптимальной температурой модифицирования чугуна модификаторами на основе кремния является 1623–1673 К.

Промышленное опробование и внедрение результатов исследования

Работы по внедрению результатов исследований проводились на Верхне-Салдинском металлообрабатывающем заводе им.В.И.Ленина. Чугун выплавляли в индукционных печах триплекс-процессом: индукционная тигельная печь ИЧТ-10 - индукционная канальная печь ЛФР-15 - автоматическая заливочная установка на базе индукционной канальной печи ЛФР-2.

В ходе промышленного опробования процесса плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом подтверждены основные результаты исследований. Даны рекомендации по технологическим параметрам плавки и внепечной обработки чугуна.

Методом математической статистики получены уравнения регрессии, позволяющие проводить оперативный контроль предела прочности при растяжении по твердости чугуна для всех отливок при применении комплексного модификатора.

Разработанные устройства ввода модификатора в струю жидкого чугуна позволили снизить расход модификаторов в 2-5 раз по сравнению с модифицированием в ковше.

Проведены исследования по герметичности чугунов, выплавленных в индукционных печах триплекс-процессом и дуплекс-процессом вагранка-индукционная тигельная печь. Показано, что герметичность чугунов, выплавленных триплекс-процессом, на 15-20% выше герметичности чугунов, выплавленных дуплекс-процессом.

Внедрение разработанного в диссертационной работе процесса плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом при производстве отливок деталей автомобиля позволило за счет снижения себестоимости шихты и расхода модификатора получить экономический эффект в сумме 245 тыс.руб. в год.

Общие выводы

I. На основании проведенных исследований и промышленного опробования разработан и внедрен типовой технологический процесс плавки и внепечной обработки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом для условий массового производства отливок на автоматических линиях и конвейерах.

2. Экспериментально установлен и термодинамическими расчетами подтвержден механизм окисления *C*, *Si* и *Mn* в серых чугунах при плавке в индукционных тигельных и канальных печах. Показано, что при плавке чугунов в индукционных печах имеется следующая последовательность угара химических элементов: при $T < 1633$ К – *Si*, *C*, *Mn*, при $T > 1633$ К – *C*, *Si*, *Mn*. Рекомендован порядок ввода карбюризатора и ферросплавов в индукционную тигельную печь: карбюризатор вводить в печь вместе с шихтой, а ферросплавы после перегрева и охлаждения чугуна при температуре 1723–1743 К.

С целью стабилизации химического состава и получения максимальных механических свойств в отливках при плавке чугуна в индукционных печах триплекс-процессом, перегрев расплава необходимо проводить в индукционных тигельных печах, а в канальных печах осуществлять накопление, поддержание температуры жидкого чугуна.

3. Экспериментально установлено, что температура чугуна в канале индукционной печи выше на 100–125° по сравнению с температурой чугуна в ванне печи. Этот перегрев способствует развитию окислительно-восстановительных реакций O_2, *C*, *Si* и *Mn*, что вызывает повышенный угар *C* в индукционных канальных печах. При длительных выдержках жидкого чугуна (выходные и праздничные дни) в индукционных канальных печах рекомендуется снижать температуру жидкого чугуна до 1623–1653 К и увеличивать содержание *C* на 6–8%, *Si* на 2,0–2,5% по отношению к ТУ.

4. Установлено, что при передаче жидкого чугуна из одного плавильного агрегата в другой расплав дополнительно насыщается кислородом, что способствует более интенсивному протеканию реакций окисления *C*, *Si* и *Mn*. При этом склонность чугуна к переохлаждению увеличивается и перед заливкой в литейные формы он должен модифицироваться.

5. Исследование различных способов ввода модификатора в жидкий чугун показало, что наибольшая эффективность процесса модифицирования достигается при вводе модификатора непосредственно в струю жидкого металла при заливке литейных форм. Разработана конструкция устройств для ввода модификатора в струю расплава. Новизна устройств защищена а.с. № 569367 и № 634840. Предложенный способ модифицирования обеспечивает увеличение механических свойств чугуна в отливках на 20–40 МПа и поз-

воляет сократить расход модификатора в 2-5 раз по сравнению с модифицированием в ковше.

6. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено влияние фракционного состава модификатора на достижение максимального эффекта модифицирования. Показано, что при модифицировании в струе расплава получение высоких механических свойств в отливках без отбела обеспечивает модификатор с размерами частиц от 1,0 до 2,5 мм при температуре ввода в чугун 1623-1673 К.

7. Разработана номограмма для определения массовой скорости ввода модификатора в струю жидкого чугуна в зависимости от величины отбеливаемости чугуна, общего расхода модификатора и скорости заливки расплава в литейные формы металлоемкостью от 10 до 100 кг. Применение номограммы дает возможность оптимизировать процесс модифицирования чугуна при заливке литейных форм на автоматических линиях и конвейерах.

8. Разработан технологический процесс плавки и модифицирования чугуна, обеспечивающий повышение и стабилизацию механических свойств и плотность отливок деталей автомобиля типа, гильз, коллекторов и др. Разработана и утверждена технологическая инструкция на процесс плавки и внепечной обработки чугуна, которая явилась основой для создания межотраслевых РТМ "Плавка чугуна в электропечах на основе металлоотходов".

9. Экономический эффект от внедрения результатов проведенных исследований составляет 245 тыс.руб. с перспективой дальнейшего его увеличения.

Результаты диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1. Опыт плавки чугуна в индукционных печах триплекс-процессом /И.А.Дибров, А.Л.Грейсух, А.В.Козлов, В.И.Аликин - Литейное производство, 1981, № 7, с.4-5.

2. Модифицирование чугуна в условиях автоматизации процесса заливки литейных форм /И.А.Дибров, Н.И.Кобелев, А.В.Козлов, А.А.Романович - Тезисы доклада на семинаре "Опыт повышения качества отливок и эффективность литейного производства", Л., 1979, с.54-57.

3. Модифицирование чугуна, заливаемого в литейные формы

посредством автоматических заливочных установок на базе индукционных канальных печей /А.В.Козлов, И.А.Дибров, Н.И.Кобелев и др. - ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1980, вып.9, с.15-21.

4. Способ и устройства для совмещения операции заливки и модифицирования чугуна /И.А.Дибров, Н.И.Кобелев, А.В.Козлов и др. - В сб. Технология, организация и экономика машиностроительного производства, 1981, № 4, с.1-3.

5. Модифицирование серого чугуна индукционной плавки / Н.И.Кобелев, И.А.Дибров, А.В.Козлов и др. - В сб. Технология производства, научная организация труда и управления, 1978, № 4, с.1-3.

6. Эффективность обработки серого чугуна модификаторами на основе РЗМ /А.В.Козлов, И.А.Дибров, Н.И.Кобелев и др. - В сб. Технология и оборудование литейного производства, 1981, № 7, с.1-5.

7. Исследование эффективности воздействия некоторых типов модификаторов на свойства серого чугуна /Н.И.Кобелев, А.В.Козлов, В.Д.Винокуров, В.С.Зайцев. - Литейное производство, 1982, № 2, с.8-10.

8. А.с. № 602587 (СССР). Модификатор /Н.И.Кобелев, И.А.Дибров, А.В.Козлов и др. - Б.И., 1978, № 14.

9. А.с. № 569387 (СССР). Устройство для модифицирования жидкого металла /Н.И.Кобелев, И.А.Дибров, В.А.Комиссаров, А.В.Козлов и др. - Б.И., 1976, № 3.

10. А.с. № 634840 (СССР). Стакан для слива и модифицирования жидкого металла /Н.И.Кобелев, И.А.Дибров, В.А.Комиссаров, А.В.Козлов и др. - Б.И., 1978, № 44.