

И202555

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

Владимир Григорьевич ФЕДОРЧЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН
В ОТЛИВКАХ КОВКОГО ЧУГУНА**

(Специальность 05.16.04 — Литейное производство)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Н. П. Дубинин,
кандидат технических наук Е. А. Васильев.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор И. П. Фоминых,
кандидат технических наук, доцент Э. Ч. Гини.

Ведущее предприятие — научно-исследовательский институт Автотракторных материалов «НИИАТМ».

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита диссертации состоится « » 197 г.

на заседании Совета факультета «Автоматизация и механизация производства» МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу: Москва, 107006, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
по

библиотеке МВТУ.

Ю. А. Степанов.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М202555

Зак. 987, Тир. 150.

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
библиотека

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1202555

Федорченко В. Г. Исследования

Введение.

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану на 1971-1975 гг. предусматривается резкое повышение^о качества, долговечности, эксплуатационной надежности и экономичности деталей машин и механизмов.

М202555
Ковкий чугун, как конструкционный материал, широко применяется благодаря высоким физико-механическим свойствам отливок, простой и стабильной технологии их производства и более низкой стоимости, по сравнению с отливками из стали, поковками и штамповками. Основными потребителями отливок из ковкого чугуна являются автомобилестроение, тракторостроение и другие отрасли промышленности. В связи с постоянным увеличением выпуска автомобилей, тракторов и сельхозмашин производство ковкого чугуна значительно возрастает. Это обстоятельство ставит перед литейщиками очередные задачи в улучшении качества получаемых отливок. В цехах, производящих фасонные отливки из ковкого чугуна в песчано-глинистых и металлических формах наблюдаются периодические появления массового брака по горячим трещинам без заметных изменений в технологии, что приводит заводы к значительным убыткам. Такие явления происходят в результате того, что многие причины и факторы, влияющие на образование горячих трещин в белом чугуне, достаточно не изучены.

Основная цель данной работы - выяснение причин появления массового брака по горячим трещинам в цехах ковкого чугуна, производящих ответственные отливки сложной геометрической формы при литье в песчано-глинистые и металлические формы, и разработка способов их устранения.

В диссертации четыре главы.

Глава I посвящена анализу современного состояния вопроса и постановке задач исследования.

Анализ литературных данных показал, что на образование горячих трещин в отливках могут влиять, как металлургические факторы, определяющие свойства металла (химический состав, газосодержание, тип плавильного агрегата и температура перегрева металла в печи) так и технологические факторы, которые оказывают влияние на условия охлаждения и деформирования металла в форме (температура заливки металла, состав песчано-глинистых формовочных смесей, температура предварительного нагрева металлических форм, состав их теплоизоляционных покрытий и конструкция отливки). Литературные данные по влиянию ряда факторов на трещинообразо-

паще в отливках ковкого чугуна весьма противоречивы. Это можно объяснить разнообразием применяемых лабораторных методов исследования, результаты которых не проверялись в конкретных производственных условиях.

На основании анализа современного состояния вопроса образования горячих трещин в отливках из чугуна и стали в работе поставлены следующие основные задачи:

1. Исследовать влияние металлургических и технологических факторов на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна с последующим теоретическим анализом явлений, происходящих в металле.

2. Разработать качественные и количественные методы исследований в лабораторных и промышленных условиях.

3. Разработать практические рекомендации по улучшению качества и технико-экономических показателей отливок ковкого чугуна при литье в песчано-глинистые и металлические формы.

Глава II содержит качественные и количественные исследования влияния металлургических факторов на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна, теоретический анализ и обсуждение полученных результатов.

Качественные методы исследования определяют факторы влияющие на образование горячих трещин в отливках, а количественные — определяют степень их влияния. В основу качественных методов исследования заложен один из основных научных принципов — сравнение. С помощью математической статистики и теории вероятностей сравнивались годные и бракованные отливки с большой и малой склонностью к трещинообразованию. Анализ полученных гистограмм распределения вероятностей годных и бракованных отливок с последующей проверкой гипотез о равенстве математических ожиданий и дисперсий определил качественно влияние $C, Si, (C + \frac{1}{2}Si), S, Mn$, отношения $\frac{Mn}{S}$ и P при изучении следующих элементов химического состава: $C, Si, S, Mn, P, Cr, Ni, Ti, Al, Cu, Se, Bi$ и B .

Значение углерода, при котором вероятность образования горячих трещин в отливках максимальна, определено делением общего поля доверительных интервалов математических ожиданий бракованных отливок с большой и малой склонностью к трещинообразованию. При сравнении партий годных и бракованных отливок, с целью исключения возможных погрешностей исследования, которые могут возникнуть в результате влияния на трещинообразование посторонних

факторов, предложены две логические схемы распределения годных и бракованных отливок с большой и малой склонностью к трещинообразованию. Полученные предварительные качественные результаты исследований сократили объем последующих экспериментальных работ.

Для количественного анализа влияния факторов на трещинообразование в отливках при литье в песчано-глинистые формы, разработан метод, который дал возможность определить степень влияния химического состава и газосодержания металла на частоту брака в процессе изготовления промышленных отливок. Комплекс производственных исследований включал в себя определение изменений частоты брака и химического состава металла непосредственно в рабочих сменах от каждого разливочного ковша. Под частотой брака понимается отношение количества бракованных по горячим трещинам отливок к общему количеству залитых из каждого разливочного ковша. В одной экспериментальной смене было изготовлено 480 отливок. Общий процент брака отливок с большой склонностью к трещинообразованию в этой смене составил 27%. Распределение частот брака свидетельствовало о значительных колебаниях брака (вспышках) по горячим трещинам в отливках сложной геометрической формы даже в течение одной рабочей смены. Построены зависимости изменения частоты брака с изменением содержания C, Si, Mn, S, P, N и O в металле.

Для количественной оценки склонности металла к трещинообразованию при литье в металлические формы рекомендована разность между относительной предельной деформационной способностью металла при высоких температурах и его относительной вынужденной деформацией при затрудненной усадке. Математическое выражение количественного критерия указанной оценки записано в виде:

$$\epsilon_k = \epsilon_n + \epsilon_y - (\epsilon_c - \epsilon_z)$$

где: ϵ_k — количественный критерий оценки склонности металла к трещинообразованию, ϵ_n — относительная предельная пластическая деформация, $(\epsilon_n + \epsilon_y)$ — относительная предельная деформационная способность металла, ϵ_c — относительная свободная усадка, ϵ_z — относительная затрудненная усадка, $(\epsilon_c - \epsilon_z)$ — относительная вынужденная деформация при затрудненной усадке металла. Определение относительной вынужденной деформации белого чугуна производилось с помощью спроектированного прибора, который позволял одновременно регистрировать, после заливки соответствующих образцов, свободную и затрудненную усадку с изменением температуры.

Определение предельных пластических и упругих деформаций белого чугуна в интервале температур 700–1150°C (через 50°C) производилось испытанием образцов на растяжение на высокотемпературном микроскопе ИМ-4S "Юнион" (Япония).

Построены зависимости изменения критерия ϵ_k с изменением C, Si, Mn, S, Mn/S и P.

Проводились исследования с целью определения критерия ϵ_k при насыщении металла азотом и кислородом. Насыщение осуществлялось путем введения в разливочный ковш расчетного количества соли железо-синеродистого калия $K_2Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$. Определение содержания азота и кислорода в чугуне производилось с помощью газоанализатора TC-30 "Леко" (США).

Результаты исследований по влиянию химических элементов и газосодержания чугуна на трещинообразование в отливках при литье в песчано-глинистые формы хорошо согласуются с аналогичными результатами для кокильных отливок. Это объясняется тем, что механизм влияния химических элементов на трещинообразование не зависит от способа получения отливок.

С помощью растрового электронного микроскопа "Стереоскан 600" (Англия) установлено, что уменьшение пластических свойств белого чугуна с повышением температуры от 1000–1150°C связано с весьма значительным ростом зерна. При этом, связь между зернами ослабевает и деформации протекают преимущественно по границам зерен. Этим и объясняется в работе тот факт, что образование горячих трещин в образцах с затрудненной усадкой зафиксировано в указанном температурном интервале.

Температурный интервал образования холодных трещин в белом чугуне лежит ниже температуры 800°C, где упругие деформации преобладают над пластическими.

С целью изучения механизма влияния химических элементов на трещинообразование в отливках и разработки убедительных рекомендаций по химическому составу ковкого чугуна, производились качественные и количественные исследования распределения химических элементов в чугуне с помощью рентгеновского микроанализатора MS-46 "Камека" (Франция). Эти исследования показали, что Mn и S образуют соединения, которые располагаются в основном по границам зерен металлической матрицы. При увеличении количества серы в белом чугуне значительно возрастает количество ее соединений. Фосфор в белом чугуне образует соединения с железом-фос-

фиды (типа фосфидной эвтектики). При увеличении содержания фосфора выше 0,12% фосфиды приобретают строчечное расположение.

На основании сопоставления результатов лабораторных и промышленных исследований с результатами исследований распределения химических элементов в белом чугуна, сделан вывод, что влияние серы и фосфора на склонность отливок ковкого чугуна к трещинообразованию заключается в изменении количества и размеров обособленных включений, которые снижают деформационную способность (пластичность) металла при температуре образования горячих трещин. В работе показано, что теоретическое обоснование этого вывода можно сделать с помощью теории дислокаций. Аналогичное влияние на деформационную способность чугуна при высоких температурах оказывают азот и кислород, образующие в металле неметаллические включения в виде нитридов и оксидов. Положительное влияние Mn и Si с точки зрения теории дислокаций объясняется тем, что неограниченно растворяясь в металле, они образуют растворы замещения, способствуя увеличению дислоцированных атомов и дислокаций в кристаллических решетках металла. Это увеличивает деформационную способность белого чугуна при высоких температурах и снижает брак отливок по горячим трещинам.

На основании экспериментальных исследований и теоретического анализа влияния S и Mn на трещинообразование в отливках были получены следующие уравнения, обеспечивающие определение содержания марганца в металле для полной нейтрализации вредного влияния серы:

$$\text{Mn} = 3,92S \text{ при } S \leq 0,14\% \quad (2)$$

$$\text{Mn} = 0,55 + 5,36(S - 0,14) \text{ при } 0,25 \geq S > 0,14\% \quad (3)$$

Исходя из выявленного влияния обособленных включений на деформационную способность белого чугуна при высоких температурах высказано предположение, что на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна может влиять также качество шихтовых материалов. В комплекс понятий, определяющих качество шихтовых материалов, с точки зрения влияния их на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна, включается характеристика "наследственности" доменных чугунов. Указанная характеристика может оцениваться количеством присутствующих в чугунах различных неметаллических включений (спелы, микропримесей и т.п.). Рассматривая количество указанных выше чужеродных включений в чугуне с точки зрения их влияния на пластические свойства белого чугуна в интервале температур образования горячих трещин

можно считать, что чугуны с лучшей "наследственностью", т.е. имеющие минимальное количество включений и примесей, будут оказывать положительное влияние на уменьшение склонности отливок ковкого чугуна к трещинообразованию.

На основании литературных данных о взаимодействии углерода с серой и фосфором и экспериментальных данных, полученных в работе, установлено совместное их влияние на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна. Получены графические зависимости, отражающие изменение предельных содержаний серы и фосфора в металле в зависимости от содержания углерода для предупреждения образования горячих трещин в отливках.

Согласно полученным в работе экспериментальным данным и их теоретическому анализу, разработаны практические рекомендации по химическому составу и газосодержанию белого чугуна, направленные на снижение брака отливок. Рекомендовано содержание углерода, кремния и фосфора в металле выдерживать в следующих пределах: $C = 2,70-2,90\%$; $Si > 1,15\%$; $P < 0,12\%$; Отрицательное влияние азота и кислорода на увеличение брака отливок по горячим трещинам обнаружено при содержании их в чугуне за пределами $110 \cdot 10^{-4}$ и $40 \cdot 10^{-4}\%$ соответственно.

Глава III содержит результаты экспериментальных исследований влияния технологических факторов на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна при литье в песчано-глинистые и металлические формы.

Известно, что с увеличением степени деформирования нагретого металла при растяжении пластичность его значительно уменьшается. В работе произведен количественный анализ влияния скорости охлаждения и деформирования на деформационную способность белого чугуна при высоких температурах и трещинообразование в отливках. Исследования проводились испытанием образцов белого чугуна на растяжение с помощью высокотемпературного микроскопа НМ-45 "Юнион" (Япония) в интервале температур $700-1150^{\circ}C$ с различными скоростями деформирования.

Скорость деформирования металла в реальных условиях охлаждения отливки зависит от скорости изменения затрудненной усадки, которая в свою очередь является функцией скорости охлаждения, и от степени равномерности распределения деформаций между различными частями отливки.

С помощью прибора, регистрирующего изменение свободной и затруд-

ненной усадки металла в зависимости от изменения его температуры производилось определение изменения скорости деформирования белого чугуна при заливке образцов на свободную и затрудненную усадку с температурой заливки жидкого металла 1330-1490°C.

Анализ кривых охлаждения образцов по времени свидетельствует о том, что в случае высокой температуры заливки образцов (1490°C) их охлаждение происходит во всем интервале температур более медленно и равномерно, чем при низкой температуре заливки (1330°C). Наиболее существенные различия между ходом указанных кривых наблюдаются в температурном интервале 1150-1000°C. Определение скорости деформирования белого чугуна в указанном температурном интервале производилось согласно уравнения:

$$V = d(\epsilon_c - \epsilon_s) / dt \quad (4)$$

где V - скорость вынужденной деформации по времени, $(\epsilon_c - \epsilon_s)$ - относительная вынужденная деформация, t - время вынужденной деформации металла в рассматриваемом температурном интервале. Количественный анализ расчетных скоростей деформирования, произведенный с помощью уравнения (4) показал, что снижение температуры заливки с 1490°C до 1330°C увеличивает скорость деформирования металла в температурном интервале 1150-1000°C примерно в три раза и способствует почти двухкратному снижению его предельной пластической деформации. Обработка экспериментальных данных по частоте брака на основании анализа 430 изготовленных отливок с большой склонностью к трещинообразованию также показала положительное влияние повышения температуры заливки металла. Рекомендовано температуру заливки металла выдерживать в пределах 1450-1480°C.

Влияние степени предварительного нагрева металлических форм на изменение скорости деформирования металла изучалось с помощью прибора, регистрирующего изменение свободной и затрудненной усадки с изменением температуры образцов в процессе охлаждения при различной степени предварительного нагрева формы прибора и постоянной температуре заливки жидкого металла 1330°C.

На основании полученных экспериментальных данных производилась количественная обработка по определению скоростей вынужденных деформаций в интервале температур 1150-1000°C согласно уравнению (4). Анализ полученных результатов показал, что увеличение температуры предварительного нагрева металлической формы до 300°C значительно уменьшает скорость деформирования чугуна в температурном интервале 1150-1000°C.

Влияние температуры предварительного нагрева металлической формы на скорость образования горячих трещин в кольцевой отливке в условиях полного затруднения усадки изучалось с помощью спроектированного прибора, принцип работы которого основан на изменении усилия выталкивания металлического стержня большой конусности (15°) в момент образования горячей трещины. Усилие выталкивания при охлаждении кольцевой конической втулки передается на мессдозу с наклеенными тензометрическими датчиками. Регистрация изменения усилия выталкивания при охлаждении втулки производилась с помощью осциллографа Н-700. Время от момента заливки формы прибора до момента образования горячей трещины в отливке определялось с помощью отметчика времени. Результаты экспериментов показали, что при температуре заливки металла 1450°C предварительный нагрев формы до температуры 300°C является практически достаточным, так как за указанным пределом времени до момента образования горячей трещины возрастает весьма незначительно. Таким образом, было установлено, что при увеличении скорости охлаждения белого чугуна скорость деформирования увеличивается, а это приводит к увеличению склонности металла к трещинообразованию. В песчано-глинистых формах уменьшение скорости охлаждения отливки (особенно тонких стенок ее) может быть достигнуто ограничением влагосодержания и содержания органических добавок в формовочных смесях.

Установлено, что увеличение коэффициента трения на поверхности отливка-металлический стержень способствует значительному увеличению времени до момента образования горячих трещин в кольцевой отливке. Это объясняется более равномерным распределением деформаций в ее объеме. Исследования проводились с применением следующих теплоизоляционных покрытий металлических стержней: машинное масло, ацетиленовая копоть и маршалит + жидкое стекло + вода. С применением в качестве покрытия машинного масла при температуре заливки металла 1450°C среднее время от момента заливки форм до момента образования горячей трещины в отливке составляло 14 сек, применение ацетиленовой копоти увеличивало это время до 20 сек, а использование покрытия на жидком стекле до 50 сек.

Для определения изменения коэффициентов трения на поверхности отливка-металлический стержень при охлаждении отливки (коническая втулка) разработан метод, который позволял путем регистрации

усилия выталкивания металлического стержня из отливки непрерывно определять изменение коэффициентов трения с изменением температуры поверхности отливки вплоть до момента образования горячей трещины.

Рассматривая взаимодействие конической отливки (втулки) с металлическим стержнем, было получено дифференциальное уравнение равновесия элементарного участка втулки. Интегрирование этого уравнения с учетом и без учета упругих свойств (с применением энергетической теории и теории наибольших касательных напряжений) привело к соответствующим трем уравнениям. Как показали теоретические и экспериментальные исследования наибольшее совпадение результатов обеспечивает уравнение, полученное для упруго-пластичного тела по теории наибольших касательных напряжений, которое имеет следующий вид:

$$f_0 = \frac{K+1}{2K^2 \cos \alpha} \operatorname{tg} \alpha - \frac{P_0}{\sigma_i (K-1) S_{\Delta} \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

где: f_0 — коэффициент трения на поверхности отливка-металлический стержень при расчетной температуре, K — отношение внешнего диаметра отливки к внутреннему, α — угол конусности металлического стержня, P_0 — усилие выталкивания металлического стержня при расчетной температуре, S_{Δ} — поверхность взаимодействия отливки с металлическим стержнем, σ_i — выражение закона деформаций в приведенной форме. Выражение для σ_i получено при аппроксимировании диаграммы растяжения двумя наклонными прямыми. Диаграммы растяжения в интервале температур 700–1150°C строились путем испытания образцов на растяжение. Результаты обработки на ЭВМ полученных экспериментальных и теоретических данных показали, что наибольшие значения коэффициентов трения на поверхности отливка-металлический стержень в температурном интервале 1150–1000°C обеспечивают покрытия на жидком стекле, благодаря их большой прочности. Для увеличения коэффициента трения на поверхности отливка-песчано-глинистая форма следует рекомендовать применение крупнозернистых формовочных песков, проектирование технологических ребер или рисок на развитых (с большой протяженностью) поверхностях отливки.

Известно, что одной из причин образования горячих трещин в отливках является неравномерное охлаждение различных частей отливки. Для определения количественного влияния геометрических размеров наиболее распространенных тепловых узлов отливок ковочного чугуна на неравномерность их охлаждения составлялись расчетные схемы и с помощью правила Хварина выводились уравнения

с учетом влияния внешних и внутренних углов тепловых узлов отливок. Вводимые в уравнения поправки, учитывающие влияние углов, определялись в работе, как экспериментально, так и на основании существующих литературных данных. Одно из полученных уравнений, выведенное для L-образного теплового узла имеет следующий вид:

$$\Delta T = \frac{1}{q^2} \left\{ \frac{[2(t_1 + t_2) + t_1 t_2 - 0.215(R^2 - r^2)]^2}{[(t_1 + t_2) + 2.572 + 6(140 - 0.018R - 0.036R^2) - 2.437t_1]^2} - \frac{t_1^2}{4} \right\} \quad (6)$$

В этом уравнении неравномерность охлаждения теплового узла отливки $\Delta T = T_2 - T_1$, где T_2 - время охлаждения толстой стенки, прилегающей к теплового узлу отливки в мин, T_1 - время охлаждения тонкой стенки, прилегающей к теплового узлу отливки в мин, q - коэффициент охлаждения, t_1 и t_2 - толщины стенок в см. (тонкой и толстой), r - внутренний радиус теплового узла в см, R - внешний радиус теплового узла в см.

На основании обработки полученных уравнений на ЭВМ, были сделаны следующие основные выводы: 1) Наиболее значительное влияние на неравномерность охлаждения тепловых узлов оказывает разная толщина сопрягающихся стенок при соотношении их толщин от одного до двух. Более высокое соотношение толщин стенок незначительно влияет на величину неравномерности охлаждения тепловых узлов отливок ковкого чугуна ΔT . В связи с этим уменьшение неравномерности охлаждения тепловых узлов отливок ковкого чугуна путем уменьшения разностенности эффективно только при уменьшении разностенности в пределах от 2 до 1.2) С увеличением толщины стенок влияние разностенности на неравномерность охлаждения тепловых узлов отливок прогрессивно возрастает. 3) Для обеспечения минимальной неравномерности охлаждения отливки, ее стенки с учетом их прочности, должны иметь минимальные толщины и разностенность.

Установлено, что деформационная способность белого чугуна при равномерном охлаждении в любом температурном интервале в несколько раз превышает вынужденную деформацию в отливках. Поэтому в условиях неравномерного охлаждения горячие трещины в отливках ковкого чугуна образуются там и тогда, где и когда вынужденная деформация, в результате концентрации деформаций и интенсивности их накопления, превышает предельную деформационную способность металла.

Таким образом, задача уменьшения влияния технологических факторов на трещинообразование в отливках ковкого чугуна сводится к уменьшению скорости деформирования металла в отдельных частях отливки (тепловых узлах) в процессе ее охлаждения, что объяс-

сняется теорией дислокаций.

Глава IV посвящена промышленному внедрению результатов работы в цехах ковкого чугуна автозавода им. И.А.Лихачева и Харцызского завода высоковольтной арматуры "АРМИЛТ" согласно полученным выводам и разработанным рекомендациям.

Периодический отбор проб на химический и газовый анализ, замер температур заливки и перегрева металла при выплавке в электродуговых печах показали весьма значительные колебания температурного режима работы указанных печей и содержания химических элементов в металле (см.таблица I).

Таблица I

Пределы колебания химических элементов в жидком металле в рабочей смене при выплавке в электродуговой печи
в %

C	Si	S	Mn	P	N.10 ⁻⁴	O.10 ⁻⁴
2,52-	0,86-	0,14-	0,50-	0,10-	35-	25
-2,36	-1,20	-0,20	-0,70	-0,17	-150	-70

Большие колебания содержания химических элементов в металле и значительные изменения технологических факторов приводили к появлению массового брака отливок по горячим трещинам. Как показали промышленные исследования появление брака отливок ковкого чугуна наблюдалось в тех случаях, когда металлургические и технологические факторы выходили за пределы рекомендаций, полученных в работе. Значительные колебания металлургических факторов при выплавке металла в электродуговых печах объясняются плохим перемешиванием жидкого металла в указанных плавильных агрегатах, неравномерной подачей более газонасыщенного и неравномерного по химическому составу металла из вагранок и отбором расплава на разливку.

В цехе ковкого чугуна автозавода им.И.А.Лихачева проводились опытные плавки в электродуговых печах с заливкой отливок при строгом соблюдении всех металлургических и технологических рекомендаций. Как показали наблюдения за качеством отливок с большой склонностью к трещинообразованию, брак по горячим трещинам практически отсутствовал. При проведении опытных плавки метал

строго выдерживался по заданному химическому составу. Температура перегрева жидкого чугуна поддерживалась в пределах 1550-1600°С в течении 10-15 мин. Указанный режим плавки и соответствующая выдержка металла в печи обеспечивает достаточно хорошее перемешивание его, что способствует выравниванию химического

состава по объему жидкой ванны и лучшей дегазации металла. В производственных условиях возникли организационные трудности в соблюдении строго режима плавки в электродуговых печах в связи с непрерывной потребностью в жидком металле, что также усугубляется неравномерной подачей металла в печь из вагранки и отбором его из печи на разливку. Поэтому, в цехе ковкого чугуна автозавода им. И. А. Лихачева принято решение заливку ответственных отливок с большой склонностью к трещинообразованию производить из канальной индукционной печи. Периодический отбор проб в рабочих сменах на химический и газовый анализ при выплавке металла в канальной индукционной печи показал, что колебания химических элементов в металле находятся в довольно узких пределах (см. таблицу 2).

Таблица 2

Пределы колебания химических элементов в жидком металле в рабочей смене при выплавке в канальной индукционной печи в%

C	Si	S	Mn	P	N · 10 ⁻⁴	O · 10 ⁻⁴
2,70-	1,15-	0,15-	0,50-	0,03-	90-	25-
-2,73	-1,20	-0,17	-0,65	-0,10	-130	-50

Увеличение температуры заливки чугуна до 1450-1480°C в условиях двух заводов, на которых внедрялись результаты работы, играет двойную роль: 1) способствует снижению брака отливок по горячим трещинам; 2) увеличивает жидкотекучесть металла, благодаря чему стало возможным отказаться от аппатитов в составе шихтовых материалов, которые применялись ранее для повышения жидкотекучести. Это позволило уменьшить содержание фосфора в чугуне до значений, гарантирующих получение отливок сложной геометрической формы без горячих трещин.

Экономический эффект от внедрения результатов работы на Хорьзском заводе высоковольтной арматуры "АРМЛИТ" составил 130990 руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено, что на качество отливок из ковкого чугуна влияют следующие факторы:

а) металлургические, которые включают в себя химический состав металла, а также способы плавки, определяющие газонасыщенность металла, однородность по химическому составу и степень его перегрева;

б) технологические, которые влияют на изменение скорости ох-

лаждения и деформирования металла в форме, что способствует изменению его деформационной способности в интервале температур образования горячих трещин.

2. Показано, что причинами появления массового брака отливок по горячим трещинам в цехах ковкого чугуна являются значительные колебания металлургических и технологических факторов, влияние которых проявляется во взаимодействии.

3. На основании качественного и количественного анализ влияния металлургических факторов на образование горячих трещин в отливках при литье в песчано-глинистые и металлические формы разработаны практические рекомендации по содержанию химических элементов (C, Si, S, Mn, P, O и N) в металле, рациональному выбору плавильного агрегата и режиму плавки металла, направленные на повышение качества и технико-экономических показателей отливок ковкого чугуна.

4. Установлено, что уменьшение скорости охлаждения и деформирования белого чугуна в интервале температур образования горячих трещин снижает трещинообразование в отливках и может быть достигнуто соответствующими технологическими приемами, указанными в работе.

5. Впервые с помощью современных методов микроанализа и на основании теории деслокаций раскрыт механизм влияния металлургических и технологических факторов на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна, благодаря чему получены убедительные рекомендации по пределам отклонения указанных факторов и определены требования к качеству шихтовых материалов, направленные на снижение брака отливок по горячим трещинам.

6. Установлено, что наиболее стабильный химический состав и газосодержание чугуна обеспечивает плавильный комплекс вагранка-канальная индукционная печь, благодаря чему задача регулирования металлургических факторов в заданных пределах и улучшения качества отливок ковкого чугуна становится более реальной.

7. Разработанные качественные и количественные методы исследований позволили:..

а) обнаружить факторы, влияющие на образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна, а также определить степень их влияния в лабораторных условиях и непосредственно на производственных отливках с различной склонностью к трещинообразованию;

б) фиксировать момент образования горячих трещин в кольцевых отливках по изменению усилия выталкивания металлических

стержней с большой конусностью, а также определять коэффициенты трения на поверхности отливка-металлический стержень при заданной температуре поверхности отливки вплоть до момента образования горячих трещин;

в) определить влияние скорости охлаждения и деформирования белого чугуна в интервале температур образования горячих трещин в отливках.

8. В работе нашли применение следующие современные методы исследований и приборы:

- а) Газоанализатор ТС-30 "Леко".
- б) Высокотемпературный микроскоп НМ-45 "Юнион".
- в) Растровый электронный микроскоп "Стереоскан 600".
- г) Рентгеновский микроанализатор MS-46 "Камека".

Обработка результатов экспериментальных исследований и расчет по формулам, полученным в результате теоретических исследований, производились с помощью ЭВМ.

9. Результаты работы получили промышленное применение при производстве отливок сложной конфигурации на автозаводе им. И.А. Лихачева и на Харцызском заводе высоковольтной арматуры "АРМЛИТ" (министерства "Энергетики и электрофикации" треста "Электросетизоляция"). Экономический эффект от внедрения основных результатов работы на Харцызском заводе составил 134990 рублей.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ:

- 1. В.Г. Федорченко, Е.А. Васильев, В.А. Эксанов. Образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна. Литейное производство, № 12, 1971.
- 2. В.Г. Федорченко, Е.А. Васильев, В.А. Эксанов. Процесс плавки, исключая образование горячих трещин в отливках ковкого чугуна. Литейное производство, № 8, 1972.
- 3. V.G. Fedotchenko, E.A. Vasilejev, V.A. Eksanov, Tehniny voditcich z temperovane litiny. Strojdenstvi, XX, 1972.
- 4. W.G. Fedortschenko, E.A. Wasilew, W.A. Eksanow, Bildung von Warmrissen an Teilen aus Temperguss. Gießereitechnik, № 5, 1972.