

05.16.04
Ш 169

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

 ШАЗИМОВ Анартай Олжабаевич

**РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ
И ВНЕДРЕНИЕ ПЛАВКИ
АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ
В ШАХТНО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ**

Специальность 05.16.04 — Литейное производство

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЧЕЛЯБИНСК 1990

Работа выполнена в Пензенском политехническом институте.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **В. А. Грачев.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор **Б. С. Чуркин**; кандидат технических наук, доцент **В. А. Изосимов.**

Ведущее предприятие — Пензенское производственное объединение «Завод имени Фрунзе».

Защита состоится «27» декабря 1990 г., в 15⁰⁰ часов, на заседании специализированного Совета К.053.13.06 при Челябинском государственном техническом университете в ауд. _____ по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке института.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направить по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан «26» ноября 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
К.053.13.06, к. т. н., доцент



Б. Э. Клецкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Внедрение прогрессивной технологии и оборудования, повышение качества отливок, создание благоприятных условий труда на рабочих местах и снижение себестоимости отливок имеют первостепенное значение для производства отливок из алюминиевых сплавов.

В настоящее время около 80 % общего объема выпуска алюминиевых сплавов приготавливается в пламенных печах. Вместе с тем они имеют низкий КПД и в них происходит значительный угар металла. Поэтому совершенствование и повышение эффективности работы плавильного агрегата является актуальной задачей.

Принципиально новым подходом при плавке алюминиевых литейных сплавов является ведение плавки в шахтно-отражательных печах в противотоке. Разработкой печей шахтного типа уже несколько лет занимаются в некоторых странах за рубежом и в нашей стране. Но до настоящего времени остаются малоизученными теплотехнические и технологические возможности плавки алюминиевых литейных сплавов в шахтных печах для получения высококачественного расплава при минимальных потерях материальных и энергетических ресурсов.

Цель работы. Разработка шахтно-отражательной печи для плавки алюминиевых литейных сплавов, работающей в непрерывном режиме при максимальном термическом коэффициенте полезного действия и при минимальных потерях металла на угар.

Для достижения поставленной цели была решена научная задача по изучению теплообмена в печи и процесса окисления алюминия в зависимости от способа расплавления шихты.

Научная новизна работы:

- научно обосновано и экспериментально подтверждено положение о том, что для расплавления шихты в камере плавления в жидкой ванне, что снижает угар до минимума, и перегрева расплава в камере перегрева до требуемой температуры при непрерывной работе печи, обеспечивающей её высокий КПД, необходимо разделить ванную часть печи огнеупорной перегородкой, имеющей в нижней части соединительные каналы; найдена зависимость суммарной

площади поперечного сечения этих каналов от площади зеркала металла в камере перегрева. Новизна этого решения подтверждается авторским свидетельством СССР № I423887;

- анализ теплопередачи в шахтно-отражательной печи позволил установить количественные характеристики процесса теплообмена: долю теплоты, передаваемой в шахте конвекцией, возможность рассмотрения нагрева шихты как термически "тонкого" тела и предельную глубину ванны для осуществления перегрева в этом же режиме. Экспериментально определено истинное значение объёмного коэффициента теплопередачи в шахте ($K_v = 401,7 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К}$);

- экспериментально определён коэффициент A_f , учитывающий характеристики материалов. Для алюминиевых сплавов, значение его составляет 19,4; исключен из формулы расчёта объёмного коэффициента теплопередачи эмпирический член, учитывающий "долю мелочи в шихте". Предложена методика учёта различных размеров кусков шихты, в том числе и мелочи;

- на основе расчётов конструктивных размеров и технологических показателей печи на ЭВМ и практического опыта эксплуатации шахтно-отражательных печей установлено, что угловой коэффициент φ для шахтно-отражательных печей целесообразно выбирать в пределах 0,3 - 0,6. На ЭВМ рассчитаны конструктивные и технологические параметры для нормального ряда печей;

- разработана методика исследования окисления алюминия при плавлении кусков шихты в жидкой ванне и при капельно-струйном режиме плавления;

- расчётами установлено и экспериментальными исследованиями подтверждено, что при плавлении куска шихты под слоем жидкого металла угар металла значительно ниже. Установлены количественные показатели окисления сплава в зависимости от удельной поверхности, продолжительности контакта металла с атмосферой и температуры печи;

- установлено, что качество алюминиевых сплавов, выплавленных в шахтно-отражательных печах, выше чем в газовых печах периодического действия, индукционных печах и печах сопротивления.

Практическая ценность. Разработана высокопроизводительная шахтно-отражательная печь для плавки алюминиевых сплавов, работающая в непрерывном режиме и обеспечивающая минимальные потери алюминия на угар, стабильную температуру металла на выходе из

печи при максимальном коэффициенте полезного действия. Разработан нормальный ряд шахтно-отражательных печей производительностью от 200 до 10000 кг/ч.

Реализация результатов работы. По результатам выполненного исследования разработана и внедрена на Пензенском ремонтно-механическом предприятии шахтно-отражательная печь производительностью 700 кг/ч, показавшая в практической работе производительность 810 кг/ч. Разработаны и внедрены на Пензенском ПО "Текстильмаш" печи производительностью 200 и 500 кг/ч. На предприятии ЯК-7/1 внедрена печь производительностью 700 кг/ч. Разработана и внедрена на Гомельском заводе пусковых двигателей печь производительностью 300 кг/ч. Экономический эффект от внедрения составляет более 300 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения работы должны и обсуждены на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

- "Современные технологические процессы получения высококачественных отливок, повышения стойкости литейной оснастки и режущего инструмента", Чебоксары, 1987 г.
- "Современное оборудование и технология плавки, внепечной обработки и заливки чугуна", г. Пенза, 1987 г.
- "Прогрессивные технологические процессы производства отливок", Чебоксары, 1988 г.
- "Интенсификация технологических процессов в литейном производстве", Барнаул, 1988 г.
- "Современные технологические процессы получения высококачественных изделий методом литья и порошковой металлургии", Чебоксары, 1989 г.
- "Проблемы производства отливок: производительность; качество, экономия", г. Пермь, 1989 г.
- "Прогрессивная технология литейного производства", Рига, 1989 г.
- "Прогрессивные методы получения отливок", Горький, 1989 г.
- "Совершенствование технологического процесса в литейном производстве", Караганда, 1989 г.
- "Разработка технологических процессов литья, проектирование оснастки и анализ качества отливок с использованием ЭВМ", Рыбинск, 1990 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, получено 1 авторское свидетельство.

Общий объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных результатов работы и выводов, списка литературы, включающего 113 наименований и приложения. Основная часть работы содержит 138 страниц машинописного текста, 30 рисунков, 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе произведён анализ процессов плавки алюминиевых литейных сплавов в печах различного типа, работающих как на газовом топливе так и на электроэнергии. Произведён анализ процесса окисления алюминиевых литейных сплавов. Дан анализ влияния процесса плавки, содержания газов и вредных примесей в расплаве на качество алюминиевых литейных сплавов.

Сравнительный анализ процесса плавки алюминиевых сплавов в печах различного типа показывает, что печи, работающие на газовом топливе имеют более высокую производительность, чем электрические печи. Но эти печи работают в периодическом режиме и имеют низкий КПД. Качество металла низкое, а угар высокий из-за капельно-струйного режима плавления. В печах сопротивления или газовых тигельных печах угар металла меньше, чем в газовых печах барабанного или ванного типа. Это связано с тем, что в тигельных печах чушки сплава как правило погружают в жидкий расплав. Коэффициент полезного действия этих печей очень низкий из-за периодичности действия печи. Существующие шахтные печи за рубежом и в нашей стране работают как в непрерывном режиме, так и в периодическом (поплавочном) режиме. В шахтных печах, работающих в непрерывном режиме расплавление происходит в капельно-струйном режиме, что приводит к повышенному угару металла и ухудшению качества получаемого расплава, КПД этих печей довольно высокий и достигает 70 %. В шахтных печах, работающих в поплавочном режиме, расплавление происходит в жидкой ванне, где наблюдается невысокий угар. Но КПД этих печей невысокий, порядка 30-40 %.

Прогрессивный технологический процесс плавки в жидкой ванне впервые разработанный советскими учёными, успешно применяется в цветной металлургии для получения меди из рудных материалов.

Принцип плавки в жидкой ванне при его дословном толковании наводил на мысль о целесообразности применения его при плавке литейных алюминиевых сплавов в машиностроении. Проведённый анализ проблем показал, что сочетание двух основополагающих принципов: плавки в жидкой ванне и шахтного способа нагрева обеспечивает высокпроизводительную плавку с высоким КПД и низким угаром. При этом для литейного производства очень важным является высокое качество металла.

Теплотехнические и технологические возможности плавки алюминиевых литейных сплавов в шахтных печах изучены очень мало и требуют глубокого исследования.

Разработка нового способа плавления алюминиевых сплавов является логическим следствием последовательного изучения процесса плавления, совершенствования технологии как в части создания более совершенных печных агрегатов, так и в получении качественного расплава для отливок.

Исходя из изложенного, в настоящей работе поставлена задача разработать новый вариант шахтно-отражательной печи для плавки алюминиевых литейных сплавов, комплексно-исследовать её тепловую работу, разработать программу и алгоритм расчёта технологических и теплотехнических параметров печи на ЭВМ, оптимизировать соотношения основных конструктивных размеров печи с точки зрения обеспечения непрерывной плавки в жидкой ванне при максимальном КПД, исследовать процесс окисления алюминия в зависимости от различных условий плавки расплавления твёрдых кусков шихты и качество алюминиевых литейных сплавов, выплавленных в шахтно-отражательных печах.

Во второй главе приводятся данные по разработке тепловой схемы печи, произведён анализ теплообмена в шахте и отражательной части, дано комплексное описание тепловой работы печи, приводятся данные экспериментальных исследований процесса теплообмена.

Тепловая схема печи (рис. I) включает в себя шахту, в которой теплообмен осуществляется в противотске наподобии шахты доменной печи или вагранки, и отражательную часть, в которой теплообмен осуществляется по типу теплообмена отражательной печи. Отличительной особенностью разработанной печи является наличие контакта твёрдой шихты с жидкой ванной. При высокой теплопро-

проводности расплава, а она характерна для алюминиевых сплавов, ванна печи будет иметь температуру, близкую к температуре плавления сплава. Чтобы избежать этого в предложенной конструкции печи сделана перегородка с отверстиями в нижней части, назначение которых состоит в передаче теплоты от ванны перегрева в ванну плавления и жидкого металла в обратном направлении.

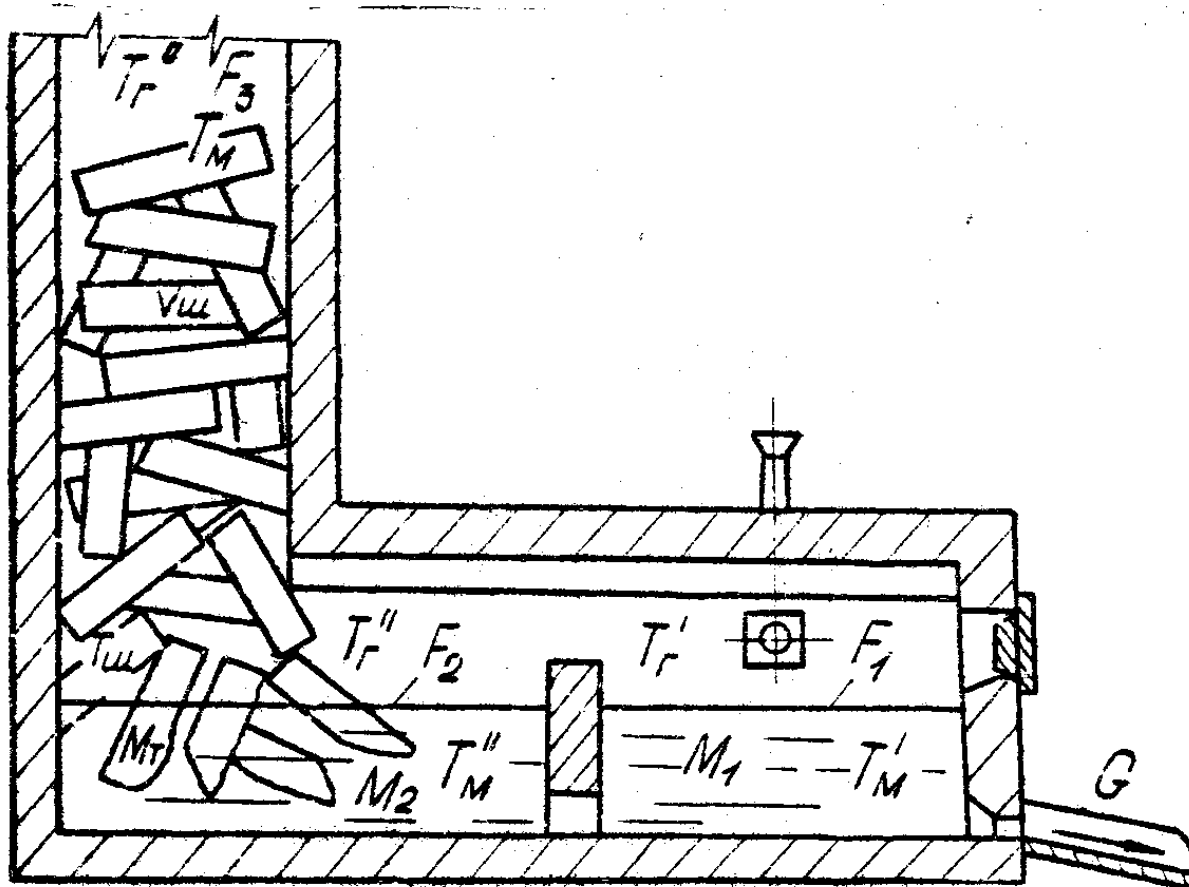


Рис. I. Тепловая схема шахтно-отражательной печи

Задача исследований тепловой работы печи состояла в определении оптимальных размеров соединительных каналов для различных условий плавки (производительности и требуемой температуры расплава), обеспечивающих стабильную работу печи при высоком КПД и низком угаре элементов за счёт плавления в жидкой ванне, а также в определении количественных показателей теплообмена в шахте и отражательной части печи, обеспечивающих заданные условия плавки.

Для обеспечения непрерывности процесса плавки, необходимо иметь определённый объём шахты, в котором шихта нагревается до 873–883 К и погружается в жидкую ванну в камере плавления и расплавляется под слоем жидкого металла. Объём шахты рассчитывается через объёмный коэффициент K_v теплопередачи в шахте.

Сечение шахты определяется конструктивным и аэродинамическими факторами и проверяется расчётом теплообмена.

Истинное значение объёмного коэффициента теплопередачи в шахте $K_V = 401,7 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ было определено экспериментально на примере работающей печи средней производительности 810 кг/ч. Имея истинное значение объёмного коэффициента теплопередачи в шахте определены доли "внутреннего" и "внешнего" сопротивления куска шихты (алюминиевой чушки). Результаты тепловых исследований показали, что доля "внутреннего" сопротивления куска шихты незначительна и составляет всего лишь 0,05 %. Соотношение между количеством тепла, полученным поверхностью и количеством тепла, отведённым внутрь, характеризуется критерием Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda}, \quad (1)$$

где S - толщина рассматриваемого тела, м;
 α - коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
 λ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Для алюминиевой чушки критерий Био меньше 0,25, т.е. нагрев осуществляется по типу термически "тонкого" тела.

Таким образом, при расчёте объёмного коэффициента теплопередачи в шахте шахтно-отражательной печи для плавки алюминиевых литейных сплавов, внутреннее сопротивление куска шихты можно не учитывать.

На основе исследований температурного режима печи и влияния содержания "мелочи" в составе шихты на теплотехнические показатели был определён коэффициент A_F , учитывающий характеристики материала. С увеличением содержания "мелочи" в составе шихты увеличивается объёмный коэффициент теплопередачи в шахте K_V ; а коэффициент A_F - учитывающий характеристики материала изменяется в очень маленьком интервале, среднее значение которого равно 19,4.

Если в доменных печах "мелочь" нарушает теплообмен, то в шахтных печах для плавки алюминиевых сплавов добавка к шихте "мелочи" не нарушает процесс теплообмена. Поэтому, при расчёте объёмного коэффициента теплопередачи в шахте целесообразно "мелочь" учитывать через средний диаметр всех составляющих шихты и пользоваться следующей формулой:

$$K_V = A_F \frac{\omega_0^{0.9} \cdot T^{0.3}}{d_{cp}^{0.75}}, \quad (2)$$

где ω_0 - скорость движения газов, м/с;

T - температура, К;

d_{cp} - средний диаметр кусков шихты, м;

$$d_{cp} = \frac{\Gamma_1 \cdot d_1 + \Gamma_2 \cdot d_2 + \dots + \Gamma_n \cdot d_n}{100};$$

$\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$ - количественное содержание кусков шихты, %;

d_1, d_2, \dots, d_n - диаметр кусков шихты, м.

$$d = \frac{6 \cdot V}{F};$$

V - объём куска шихты, м³; F - его поверхность, м².

Описание теплообмена в отражательной части начинаем с камеры перегрева, так как в этой камере температура расплава должна быть строго в заданных пределах при непрерывной работе печи. В этом плане особое значение имеет соотношение площадей зеркала металла в камере перегрева и суммарной площади поперечного сечения соединительных каналов, по которым поступает "холодный" расплав.

В камере перегрева постоянно существует тепловой поток, плотность которого равна:

$$q_{\delta 1} = C_{гкм} \left[\left(\frac{T_{г'}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{м'}}{100} \right)^4 \right] + \alpha'_k (T_{г'} - T_{м'}) \quad (3)$$

Через поверхность F_1 передаётся металлу следующий поток тепла:

$$Q_1 = C_{гкм} \left[\left(\frac{T_{г'}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{м'}}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 + \alpha'_k (T_{г'} - T_{м'}) \cdot F_1 \quad (4)$$

В расплаве, расположенном в камере плавления и камере перегрева в районе соединительного канала постоянно существует градиент температуры. Так как в камере перегрева должен быть всегда расплав, перегретый до температуры 1033-1043 К, а в камере плавления за счёт непрерывного плавления шихты под слоем расплава металл всегда имеет температуру приблизительно равную температуре плавления сплава. При наличии градиента температуры между расплавом, расположенным в камере перегрева, и в камере плавления, существует тепловой поток в расплаве через соедини-

тельные каналы, который направлен противоположно движению расплава в печи. Его плотность равна:

$$Q_2 = \frac{\lambda_{ж}}{\delta} (T'_M - T''_M). \quad (5)$$

То есть из камеры перегрева в камеру плавления через соединительные каналы переходит тепло. разное:

$$Q_2 = \frac{\lambda_{ж}}{\delta} (T'_M - T''_M) \cdot f, \quad (6)$$

где f - суммарная площадь поперечного сечения соединительных каналов.

Если тепловой поток Q_2 от расплава, находящегося в камере перегрева, к расплаву, находящемуся в камере плавления больше, чем тепловой поток Q_1 , то это приведет к захлаживанию расплава в камере перегрева, что может наблюдаться при завышенной площади f . И наоборот, при заниженной f возможен обратный процесс.

На основании формул теплового баланса и расчета теплообмена между камерами плавления и перегрева, была получена зависимость:

$$f = \left\{ 5,67 \varepsilon_r \varepsilon_m \frac{\varphi(1-\varepsilon_r)+1}{\varphi(1-\varepsilon_r)[\varepsilon_m+\varepsilon_r(1-\varepsilon_m)]} \left[\left(\frac{T'_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{T'_M}{100} \right)^4 \right] \cdot F_r + \alpha'_k (T'_M - T''_M) \cdot F_r - C_{ж} (T'_M - T''_M) \cdot G - \left(\frac{T'_M - T'_{ст}}{\frac{\nu_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\nu_{из}}{\lambda_{из}} + 0,05} \cdot F'_{ст} \right) \right\} \left[\frac{\lambda}{\nu_1} (T'_M - T''_M) \right]^{-1}, \quad (7)$$

и рассчитано соотношение площадей зеркала металла в камере перегрева и суммарной площади поперечного сечения соединительных каналов. для степени черноты газов $\varepsilon_r = 0,3$; алюминиевого сплава $\varepsilon_m = 0,2$; при угловом коэффициенте $\varphi = 0,3$; $T'_r = 1473$ К; $T'_M = 1033$ К; $T''_M = 933$ К; $T'_{ст} = 323$ К; $F_r = 0,8$ м, $F'_{ст} = 1,88$ м; $\nu_{ст} = 0,3$ м; $\nu_{из} = 0,02$ м; $\nu_1 = 0,115$ м, коэффициентах теплопроводности жидкого алюминия $\lambda_{ж} = 122$ Вт/(м·К), стенки кладки печи (шамот) $\lambda_{ст} = 0,85$ Вт/(м·К); асбестовой изоляции! $\lambda_{из} = 0,17$ Вт/(м·К); производительности печи $G = 0,225$ кг/с; теплоемкости расплава $C_{ж} = 1081$ Дж/(кг·К) и коэффициента теплопередачи конвекцией $\alpha'_k = 40,0$ Вт/(м²·К), которое равно:

$$f = 0,044 \cdot F_r.$$

Для проверки расчетных данных была проведена серия экспериментов в работающей печи по определению оптимального сечения

суммарной площади соединительного канала между камерами плавления и перегрева. Результаты исследований приведены на рис.2.

Из приведённых опытов установлено, что оптимальные значения площади f поперечного сечения соединительных каналов находятся в пределах $(0,05 - 0,1) \cdot F_1$, что обеспечивает высокий КПД, наименьший угар и стабильную температуру расплава в камере перегрева.

При увеличении суммарной площади f поперечного сечения соединительных каналов свыше $0,1 \cdot F_1$, т.е. свыше $0,08 \text{ м}^2$, приводит к снижению температуры расплава в камере перегрева за счёт теплопередачи к расплаву в камере плавления. Так, выполнение суммарной площади f поперечного сечения соединительных каналов $0,16 \text{ м}^2$ приводит к снижению температуры расплава на $353 - 363 \text{ К}$, т.е. температура расплава в камере перегрева снижается до $943 - 953 \text{ К}$. При такой площади поперечного сечения соединительных каналов для перегрева до требуемой температуры $1033 - 1043 \text{ К}$ необходимо временно прекратить загрузку шихты, чтобы не захламлять расплав в камере плавления, который в свою очередь отбирает тепло от расплава, находящегося в камере перегрева через соединительные каналы. В этом случае нарушается принцип непрерывности, а увеличение расхода топлива приведёт только к ненужному перегреву расплава, увеличению угара и снижению КПД.

Уменьшение площади $f < 0,05 F_1$ приводит к замедлению поступления жидкого расплава из камеры плавления в камеру перегрева. За счёт этого повышается температура металла в камере перегрева, что приводит к возможному увеличению угара металла и снижению КПД и производительности печи при неизменном расходе топлива.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтверждают расчётные данные теплообмена в отражательной части, по которым можно сделать вывод, что площадь f между камерами плавления и перегрева должна выполняться во взаимосвязи с площадью F_1 зеркала металла в камере, оптимальное соотношение которых составляет:

$$f = (0,05 - 0,1) \cdot F_1 .$$

На основе приведённых исследований тепловой работы печи и полученных результатов расчёта была разработана программа и алгоритм расчёта на ЭВМ нормального ряда шахтно-отражательных печей для плавки алюминиевых литейных сплавов. Результаты

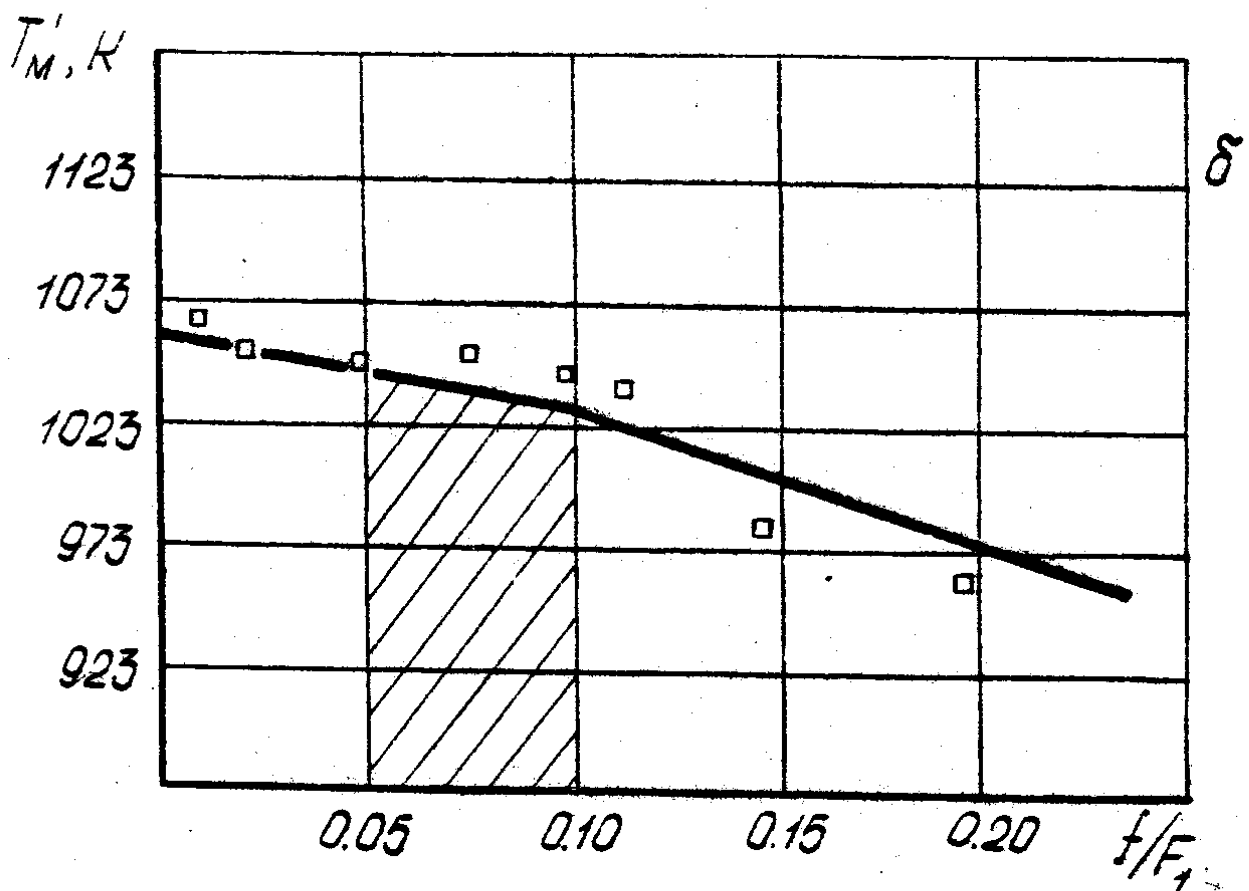
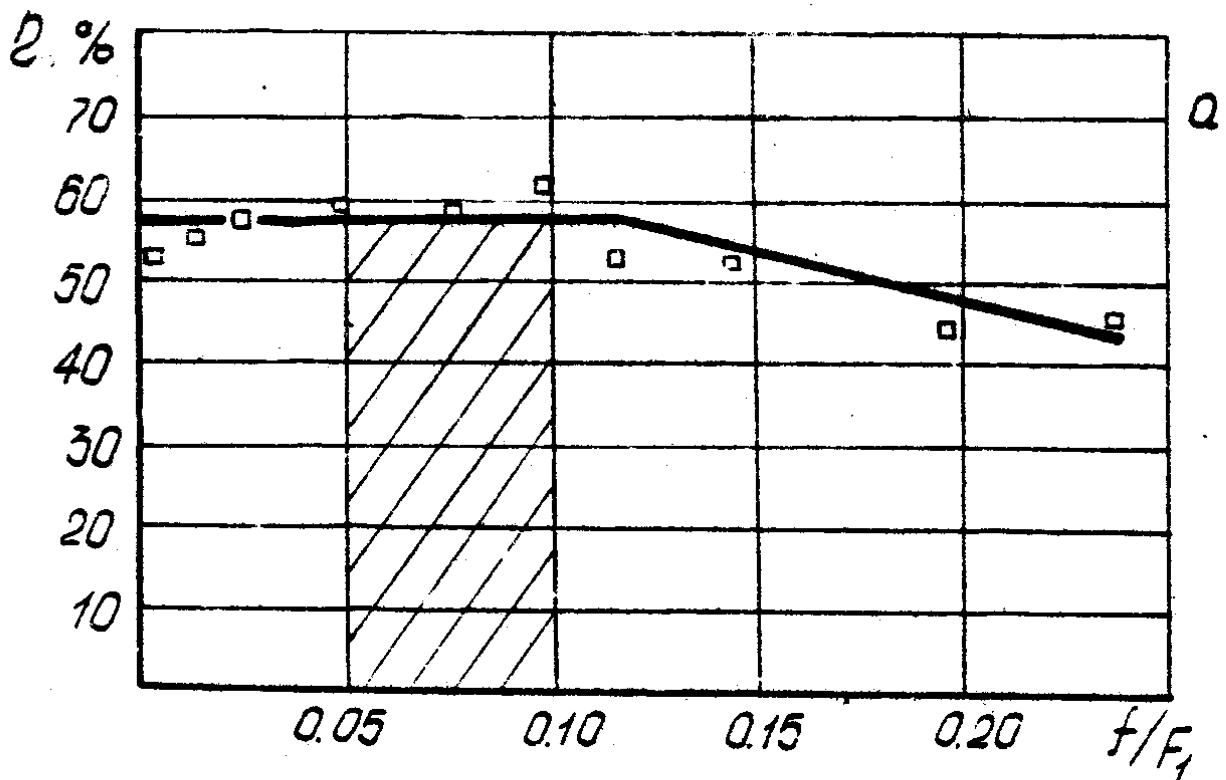


Рис.2. Зависимость термического КПД печи (а) и температуры металла в камере перегрева (б) от соотношения суммарной площади поперечного сечения соединительных каналов и площади зеркала металла в камере перегрева

расчётов конструктивных размеров печи на ЭВМ по взаимосвязи с его теплотехническими параметрами показывает, что оптимальное значение углового коэффициента φ находится в пределах от 0,3 до 0,6. Термический КПД печи при таких значениях φ достигает 70 %.

В третьей главе дан анализ экспериментальных результатов, полученных автором при исследовании процесса окисления алюминия при капельно-струйном режиме расплавления и при подслоном режиме расплавления образцов. Описаны методика и результаты исследований, дано их обсуждение. Полученные результаты и выводы проанализированы на фоне экспериментальных данных других исследователей.

При плавке алюминиевых сплавов толщина окисной плёнки, образующейся на поверхности, во многом зависит от способа расплавления твёрдых кусков шихты в печи. Расплавление может происходить двумя путями: в капельно-струйном режиме или под слоем жидкого металла (в жидкой ванне). Угар алюминия при этих способах расплавления резко отличается друг от друга. При расплавлении твёрдых кусков шихты под слоем жидкого металла, шихта не имеет контакта с печной атмосферой и продуктами сгорания во время расплавления. В этом случае с продуктами сгорания и с атмосферой печи контактирует только поверхность жидкого металла в камерах плавления и перегрева. А в капельно-струйном режиме расплавления вся шихта расплавляется в виде капель и струек и контактирует с продуктами сгорания, что естественно приводит к увеличению угара металла. Для сравнения процесса окисления в количественном отношении рассмотрен по отдельности каждый вид расплавления и рассчитана доля массы окисной плёнки, образующейся в процессе нагревания и расплавления на поверхности алюминиевой шихты.

Разработана методика исследования процесса окисления алюминия при двух способах расплавления: капельно-струйном режиме (КСР) и при плавлении образцов в жидкой ванне (ПЖВ). Образцы изготавливали из чистого алюминия (99,99 %), которые имели цилиндрическую форму диаметром 10 мм и высотой 20 мм. Перед каждым экспериментом образцы шлифовали и обезжировали в бензине.

Из результатов проведённых исследований установлено, что среднее значение окисления при ПЖВ составляет $1,385 \cdot 10^{-2} \%$, а при КСР - $5,772 \cdot 10^{-2} \%$ от исходной массы образцов.

При расчёте толщины окисной плёнки на поверхности шихты и на поверхности зеркала металла в ванне печи производительностью 810 кг/ч разница между двумя способами расплавления составила 12,8 раза. Насыпная масса шихты в шахте печи 945 кг или 63 шт алюминиевой чушки массой 15 кг и поверхностью $0,35 \text{ м}^2$. Удельная поверхность шихты составляла $0,0233 \text{ м}^2/\text{кг}$. Общая поверхность 50 шт образцов, помещаемых в графитовый тигель составляет $3,93 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ при общей массе образцов 201,557 г, т.е. удельная поверхность образцов составляла $0,195 \text{ м}^2/\text{кг}$. Отсюда очевидно, что увеличение удельной поверхности приводит к увеличению окисления. Так, при расплавлении кусков шихты в жидкой ванне в шахтно-отражательной печи доля массы окисленного алюминия при удельной поверхности $0,0233 \text{ м}^2/\text{кг}$ составляет $3,11 \cdot 10^{-3} \%$, а при удельной поверхности образцов $0,195 \text{ м}^2/\text{кг}$ при расплавлении в жидкой ванне доля массы окисленного алюминия составляет $13,85 \cdot 10^{-3} \%$.

Результаты второй серии экспериментов по исследованию влияния температуры и времени выдержки показывает, что при температуре 1273 К и времени выдержки 5 часов увеличение массы образцов при ПЖВ составляет 630 мг или 0,3148 % к исходной 200,145 г. При КСР максимальное увеличение массы образца достигается также при 1273 К и времени выдержки 5 часов, но оно значительно выше, чем при ПЖВ и составляет 1160 мг или 0,5793 %. При обоих способах расплавления (ПЖВ и КСР) наблюдается резкий скачок возрастания количества окисления в интервале температур 1073-1173 К. Это очевидно связано с растрескиванием зеркала металла в тигле выше 1073 К и обновлением (залечиванием) части зеркала металла новыми окислами алюминия, что в свою очередь увеличивает угар.

Анализ результатов исследования окисления показал, что для достижения минимальных потерь при плавке в шахтно-отражательной печи плавку нужно вести в жидкой ванне с наименьшей удельной поверхностью шихтовых материалов.

В четвёртой главе приведены результаты внедрения плавки алюминиевых литейных сплавов в шахтно-отражательных печах. Приводятся данные по качеству и свойствам алюминиевых литейных сплавов, выплавленных в шахтно-отражательных печах, а также данные по исследованию содержания газов в алюминиевом сплаве и данные по механическим свойствам. Исследования по определению

газов в алюминиевом сплаве проводилось стандартным методом согласно ГОСТ 21132.1-81. Пробы из алюминиевых сплавов отливали по методике МР № 260-34-87, разработанной во Всесоюзном институте легких сплавов (ВИЛС).

Анализ результатов исследований газосодержания алюминиевых сплавов показал, что наибольшее количество газов содержится в образцах, выплавленных в газовых печах периодического действия, а наименьшее - в тигельной печи сопротивления. На рис.3 приведены данные по содержанию газов в алюминиевых сплавах, выплавленных в различных печах в зависимости от времени выдержки готового расплава в печи. Как видно, с увеличением времени выдержки, содержание водорода увеличивается. В индукционной печи при длительной выдержке содержание водорода в расплаве ниже, чем в газовых печах, но также ниже и качество расплава из-за наличия окисных включений. Для предотвращения насыщения расплава водородом в газовых шахтно-отражательных печах с огнеупорной перегородкой, рекомендуется плавку производить в непрерывном режиме, что и предусмотрено конструкцией печи.

При определении механических свойств образцы вытачивались из специально отлитых заготовок. Форма и размеры выточенных образцов выполнялись в соответствии с ГОСТ 1497-84. Механические свойства сплавов АК7 и АК9, выплавленных в шахтно-отражательных печах, полностью отвечали требованиям ГОСТ 1583-89 и нормативно-технической документации, действующей на ПО "Текстильмаш", где внедрены печи.

Исследования по определению газовой пористости показали, что образцы соответствуют 2-3 баллам шкалы пористости.

После внедрения шахтно-отражательных печей на Пензенском ремонтно-механическом предприятии, взамен тигельных печей сопротивления, содержание железа в алюминиевом сплаве снизилось с 1,5 % до 0,5 %. Это позволило улучшить механические свойства отливок и снизить до 25 % массу отливки.

Таким образом можно заключить, что применение шахтно-отражательных печей для плавки алюминиевых литейных сплавов позволяет, наряду с увеличением КПД и снижением угара, улучшить качество отливок.

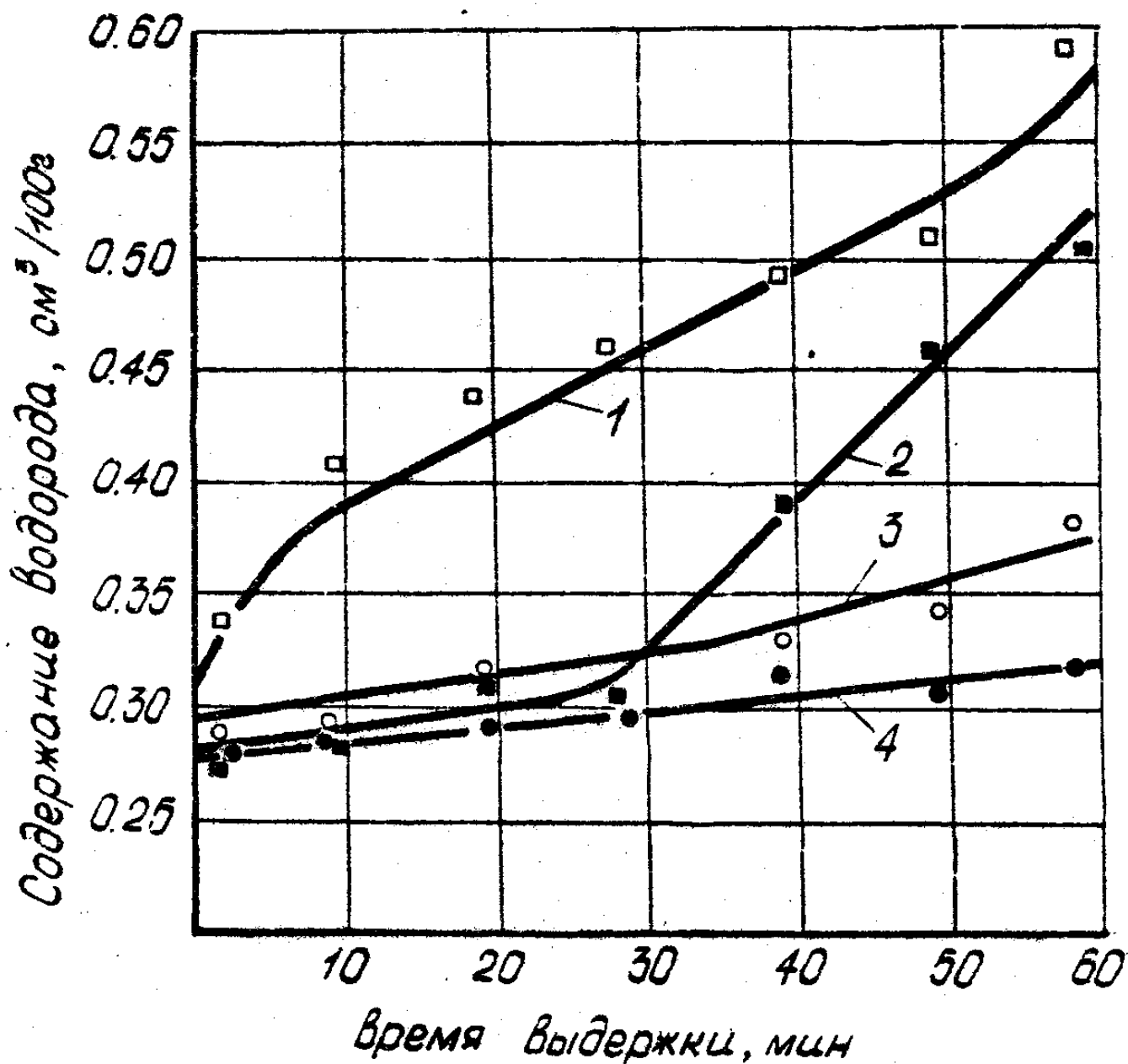


Рис.3. Зависимость содержания водорода в алюминиевом сплаве от времени выдержки при плавке в различных агрегатах:
 1 - газовая барабанная печь; 2 - газовая шахтно-отражательная печь; 3 - индукционная тигельная печь; 4 - тигельная печь сопротивления

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана высокопроизводительная шахтно-отражательная печь для плавки алюминиевых литейных сплавов, работающая в непрерывном режиме с расплавлением кусков шихты в жидкой ванне при максимальном термическом КПД. Конструкция печи защищена авторским свидетельством.

2. Произведён анализ теплопередачи в шахте и отражательной части печи. Установлено, что в шахте основная часть тепла (91,8 %) передаётся конвекцией, а остальная часть - излучением, что позволяет применять полученные данные для количественной оценки и расчётов. Исследованиями температурного режима печи установлено, что истинное значение объёмного коэффициента теплопередачи в шахте для шахтно-отражательных печей при плавке алюминиевых сплавов в чугунах, равно $401,7 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К}$.

3. На основании расчётов и полученных результатов исследований теплообмена в шахте определён коэффициент A_f , учитывающий характеристики материала, среднее значение которого для алюминиевого сплава составляет 19,4. Установлено, что добавление "мелочи" в состав шихты не нарушает процесс теплообмена в шахте. При расчёте объёмного коэффициента теплопередачи в шахте "мелочь" целесообразно учитывать не через эмпирический коэффициент, а через средний диаметр всех составляющих шихты.

4. Установлено, что для перегрева расплавленного металла непосредственно в печи при её непрерывной работе, необходимо разделить ванну печи огнеупорной перегородкой, имеющей в нижней части соединительные каналы, суммарная площадь поперечного сечения которых должна находиться в пределах 0,05 - 0,1 от площади зеркала металла в камере перегрева. Это соотношение рассчитано теоретически и подтверждается экспериментально.

5. Исследованиями установлено, что для перегрева расплава в камере перегрева до 1033-1043 К глубину ванны необходимо выполнять не более 300-350 мм, при котором отпадает решение "внутренней" задачи нагрева металла и расчёты теплообмена в отражательной части вести как для термически "тонких" тел.

6. Дано комплексное описание теплообмена в печи, обеспечивающее непрерывное расплавление шихты в жидкой ванне и получение расплава с требуемой температурой. Разработаны математическая модель и программа расчёта конструктивных размеров и технологических показателей печи на ЭВМ. Установлено, что угловой коэффициент для шахтно-отражательных печей должен быть в пределах 0,3 - 0,6. При таких значениях φ достигается максимальный термический КПД. Расчётами на ЭВМ и исследованиями теплообмена установлено, что удельный объём шихты W при $K_v = 401,7 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К}$ находится в пределах $(1,05 - 1,20) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{ч/кг}$; при таком удельном объёме шихты температура отходящих газов находится от 423 до 493 К.

7. Разработана методика исследования окисления алюминия при плавлении кусков шихты в жидкой ванне и при капельно-струйном режиме плавления. Расчётами установлено и исследованиями подтверждено, что способ расплавления кусков шихты в печи и удельная поверхность шихты оказывает значительное влияние на окисление алюминия. При удельной поверхности шихты $0,0233 \text{ м}^2/\text{кг}$ количество окисленного алюминия при капельно-струйном режиме расплавления в 12,8 раз больше, чем при расплавлении кусков шихты под слесем жидкого металла, а при удельной поверхности шихты $0,195 \text{ м}^2/\text{кг}$ разница между двумя способами расплавления составляет 4,2 раза.

8. Исследованиями установлено, что количество окислов, образующихся в процессе выдержки жидкого алюминия при постоянной температуре зависит от продолжительности выдержки и уровня температуры. Так, при плавке образцов в жидкой ванне в интервале температур $973-1273 \text{ К}$ и при времени выдержки 5 часов, привес составляет до 0,314 %. При капельно-струйном режиме расплавления в интервале температур $973-1273 \text{ К}$, привес в течении 5 часов составляет 0,579 %.

9. Исследованиями качества алюминиевых сплавов АК7 и АК9 установлено, что по всем показателям физико-механических свойств сплавы при выплавке в шахтно-отражательной печи отвечают требованиям ГОСТ 1583-89 и ТУ на соответствующие отливки. В результате внедрения шахтно-отражательных печей на ПРМП за счёт резкого снижения содержания железа в алюминии, улучшилось качество и механические свойства отливок, что дало до 25 % снизить массу

отливок. Содержание водорода в образцах алюминиевых сплавов по методике МР № 260-34-87, отлитых из жидкого металла, выплавленных в шахтно-отражательной печи до рафинирования составляет 0,35 - 0,47 см³/100 г, что ниже, чем в газовых барабанных печах - (0,53 - 0,64 см³/100 г) и в индукционных тигельных печах - (0,40 - 0,49 см³/100 г).

10. На основе результатов исследований и результатов расчета конструктивных размеров и теплотехнических показателей печи на ЭВМ разработан нормальный ряд шахтно-отражательных печей для плавки алюминиевых литейных сплавов производительностью от 200 до 10000 кг/ч.

11. Результаты работы внедрены на Пензенском ремонтно-механическом предприятии, на ПО "Текстильмаш", на предприятии ЯК-7/1 и на Гомельском заводе пусковых двигателей. На стадии внедрения находится на Куйбышевском моторостроительном ПО им. М.В.Фрунзе. Годовой экономический эффект от внедрения составляет более 300 тыс. рублей.

Основные научные и практические результаты, включенные в диссертацию, изложены в перечисленных ниже публикациях:

1. Расулор С.А., Голубятников М.И., Моргунов В.Н., Шазимов А.О. Расчёт печей для плавки цветных сплавов // Методические разработки. Ташкент: 1984. - С.48.

2. Грачёв В.А., Шазимов А.О. Шахтно-отражательная печь для плавки алюминиевых сплавов в жидкой ванне // Современные технологические процессы получения высококачественных отливок: повышение стойкости литейной оснастки и режущего инструмента: Тез. докл. Межреспублик. научно-технич. конф. Чебоксары, 1987. - С. 22-23.

3. Грачёв В.А., Шазимов А.О. Теплообмен и массообмен в шахтно-отражательных печах // Современное оборудование и технология плавки, внепечной обработки и заливки чугуна: Тез. докл. Зональн. семинара. Пенза, 1987. - С. 22-23.

4. Грачёв В.А., Шазимов А.О. Непрерывная плавка алюминиевых сплавов в жидкой ванне // Интенсификация технологических процессов в литейном производстве? Тез. докл. Региональн. научно-техн. конф. Барнаул, 1988. - С. 41-42.

5. Грачёв В.А., Шазимов А.О. Расчёт и оптимизация теплообмена в шахтно-отражательных печах для плавки алюминиевых сплавов // Прогрессивные технологические процессы производства отливок: Тез. докл. Межреспубл. научн.-техн. конф. Чебоксары, 1988. - С. 62-63.

6. Грачёв В.А., Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Прогрессивный процесс получения алюминиевого расплава // Современные технологические процессы получения высококачественных изделий методом литья и порошковой металлургии: Тез. докл. Межреспубл. научно-техн. конф. Чебоксары, 1989. - С. 9-10.

7. Грачёв В.А., Шазимов А.О. Опыт внедрения плавки алюминиевых сплавов в жидкой ванне // Проблемы производства отливок: производительность, качество, экономия: Тез. докл. XU научно-практич. конф. литейщиков Западного Урала. Пермь, 1989. - С. 53-54.

8. Грачёв В.А., Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Прогрессивная технология плавки алюминиевых сплавов в шахтно-отражательных печах // Прогрессивная технология литейного производства: Тез. докл. научно-техн. семинара. Рига, 1989. - С. 43-44.

9. Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Непрерывный процесс получения алюминиевого расплава для отливок // Прогрессивные методы получения отливок: Тез. докл. Област. научно-техн. конф. Горький, 1989. - С. 26-27.

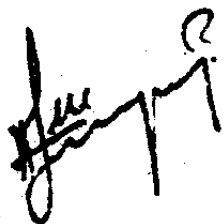
10. Грачёв В.А., Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Прогрессивная технология плавки алюминиевых сплавов // Совершенствование технологических процессов в литейном производстве: Тез. докл. IU региональн. научно-техн. конф. Караганда, 1989. - С. 11-12.

11. Грачёв В.А., Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Расчёт конструктивных размеров и технологических параметров шахтно-отражательных печей на ЭВМ // Разработка технологических параметров литья, проектирование оснастки и анализ качества отливок с использованием ЭВМ: Тез. докл. научно-техн. конф. Рыбинск. 1980. С. 17-18.

12. Грачёв В.А., Тураходжаев О.Д., Шазимов А.О. Влияние процесса плавки в газовых печах на механические свойства алюминиевых сплавов // Разработка технологических параметров литья, проектирование оснастки и анализ качества отливок с использованием ЭВМ: Тез. докл. научно-техн. конф. Рыбинск, 1990. - С. 26-27.

13. Шазимов А.О., Тураходжаев О.Д. Экономия алюминиевого сплава при плавке в шахтно-отражательной печи // Экономия металлов при конструировании и производстве отливок: Межвузовский сборник научн. трудов. Пенза, 1990. - С. 117-121.

14. А.с. СССР 1423887 27 В 1/08. Шахтно-отражательная печь / Грачёв В.А., Моргунов В.Н., Шазимов А.О. Оpubл. в БИ № 34, 1988 г.



ШАЗИМОВ Анартай Олжабаевич

РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ
ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ
В ШАХТНО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Специальность 05.16.04 - Литейное производство

Сдано в производство 20.II.90. Формат 60x84^I/16.
Бумага писчая № 1. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100. Заказ 694. Бесплатно.

Редакционно-издательский отдел ПНИ. Пенза, Красная