

М336704
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

МОСКОВСКОЕ

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

на правах рукописи

КРУПИН АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И ЗАДЕРЖАНИЯ
ШЛАКОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ЛИТЬЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
И РАЗРАБОТКА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОГО
ШЛАКОЗАДЕРЖАНИЯ.

(специальность 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 1979г.

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

МОСКОВСКОЕ

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

на правах рукописи

КРУПИН АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И ЗАДЕРЖАНИЯ
ШЛАКОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ЛИТЬЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
И РАЗРАБОТКА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОГО
ШЛАКОЗАДЕРЖАНИЯ.

(специальность 05.16.04 - Литейное производство)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1336704

Крупин А.Я. Исследование у.

Москва 1979г.

Работа выполнена на Калужском
ордена Октябрьской революции машиностроительном заводе.

Научный руководитель - Соколов Е.А., к.т.н., доцент.
Официальные оппоненты: Чурсин В.М., д.т.н., профессор.
Гини Э.Ч., к.т.н., доцент.

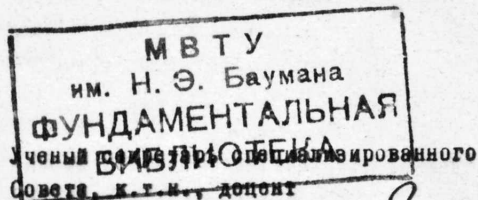
Ведущее предприятие - Тепловозостроительный завод,
г. Коломна

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 197 ____ г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.13 по ме-
талловедению и горячей обработке металлов Московского ордена
Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего техниче-
ского училища имени Н.Э.Баумана по адресу:
г. Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
училища.

Автореферат разослан " _____ " _____ 197 ____ г.



БЕЛИКОВ О.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Одной из главных задач, поставленных 25 съездом КПСС, является повышение качества, надежности и долговечности выпускаемых промышленностью изделий при снижении их материалоемкости. Для этих целей постоянно увеличивается применение отливок из алюминиевых сплавов. Получение сложных литых деталей, несмотря на рафинирование, модифицирование и изготовление отливок в кокиль, в условиях производства все еще остается технически сложным вопросом и сопровождается повышенным браком отливок. Химическая активность алюминия к кислороду вызывает окисление сплава при заливке в форму с образованием загрязнений в виде шлаковых включений. Высокие скорости движения жидкого металла и отсутствие разности в плотностях окислов и металла сильно затрудняют задержание шлаковых включений при заливке в форму.

Создание в литниковых системах гидродинамических условий, повышающих очистку расплава, является весьма актуальной проблемой, решение которой позволит повысить качество литья.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью настоящей работы является разработка и исследование конструкций литниковых систем с гидродинамическим эффектом задержания шлака.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Новизна исследований заключается:

- в разработке и обосновании использования явления прыжка для создания в конструкциях литниковых систем гидродинамического эффекта шлакозадержания;
- в разработке методики конструирования и расчета литниковых систем с гидродинамическим эффектом шлакозадержания.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Предложены вертикально-целевая литниковая система повышенного шлакозадержания и методика ее конструирования и расчета; метод контроля неметаллических включений по литой пробе; технологические процессы приготовления жидких флюсов и обработка ими сплавов.

РЕАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ. Внедрены в производство: литниковые системы повышенного шлакозадержания; технологическая проба для контроля на содержание в отливках неметаллических включений; технология приготовления расплавов.

Экономическая эффективность от внедрения составила 72000р.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Отдельные результаты исследований и работа в целом докладывались: на I съезде литейщиков в г. Минске (май 1978г.), на 2 конференциях, 4 семинарах и 3 совещаниях и технических советах.

ПУБЛИКАЦИЯ. По результатам данной работы автором опубликовано 12 статей и получено 2 авторских свидетельства.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация выполнена на 166 страницах машинописного текста состоит из 6 глав, содержит 7 таблиц, 65 иллюстраций, 1 приложение. Библиография включает 136 наименований.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

Анализом заводских и литературных данных установлено, что рафинирование алюминиевых сплавов в процессе приготовления и их фильтрация при заливке не гарантируют получение качественных отливок. Основным видом брака крупных отливок являлись шлаковые включения, что указывало о неудовлетворительном его задержании в шлакоуловителях применяемых литниковых систем.

По технологическим требованиям в обеспечении условий направленной кристаллизации и получения отливок без усадочной пористости наиболее полно удовлетворяют вертикально-щелевые литниковые системы, но они при заливке высоких деталей и верхнем подводе жидкого металла в металлоприемник - коллектор не обеспечивают задержание шлаковых включений. Примером тому может служить кокильная отливка "поршня" для дизелей типа Д-50, имеющая брак более 10%. Масса отливки - 60 кг. Заливка металла производилась с наклоном кокиля через вертикально-щелевую литниковую систему с металлоемким коллектором и фильтрацией в нем расплава через металлическую сетку с диаметром отверстия 2 мм. Причем в подавляющем большинстве до 85% составляли шлаковые включения.

Движение расплава по каналам сопровождается захватом воздуха, разрывом окисной пленки и замешиванием ее в расплав. При падении в металлоприемнике поток расплава достигает максимальной скорости и сопровождается динамическим ударом с образованием пены.

Неудовлетворительное задержание шлака в шлакоуловителе вызывает перенос потоком загрязненных первых порций металла в

полость формы. Поэтому начальный момент заливки является наиболее опасным в образовании шлаковых включений. Применение различных гидравлических сопротивлений: установки сеток, дросселей, фасонных стояков и др. приемов — способствует снижению скорости и динамического удара, но не исключает образование пены за этими элементами сопротивлений.

Расплав при движении по литниковым каналам, ударяясь о стенку формы образует прыжок, создавая подпор и обратное течение. Прыжок снижает скорость движения, но как правило не приводит к положительному эффекту очистки металла. Вращательное движение потока в прыжке носит неустойчивую и неопределенную форму. Из-за неуправляемости процесса прыжка при заливке форм это явление не нашло своего применения при производстве отливок. Явление прыжка не изучено и в теории литейных процессов.

Было предположено, что если придать явлению прыжка устойчивое по форме и времени вращение жидкого металла вокруг горизонтальной оси в металлоприемнике литниковых систем, то возможно будет получить стабильный гидродинамический эффект задержания неметаллических включений в начальный момент заливки.

В связи с изложенным основной целью в настоящей работе были поставлены и решены следующие научные задачи:

- выявить и исследовать гидродинамические условия повышенного шлакозадержания в прыжке;
- разработать методику конструирования и расчета литниковых систем с гидродинамическим эффектом шлакозадержания.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение процессов заливки форм производилось вспенивающим составом с введением моделей шлаковых частиц из полосок черной бумаги и шариков пенополистирола. Моделирующие составы позволяют изучать процесс вспенивания и переноса частиц в полость формы, а также производить визуальное наблюдение.

Модели литейных форм изготавливались из оргстекла в масштабе 1:1. Заливка выполнялась на специальной установке с наклоном формы и поворотом заливочного ковша. Шлаковые частицы вводили в литниковую чашу и в струю потока. Наблюдение за процессом выполнялось визуально и с фиксацией киносъемкой и фотографированием. Количественный обмер образовавшейся пены произво-

дился с помощью координатной сетки и замеров объемов в см³. Время задержания видимых частиц определялось секундомером. Все эксперименты повторялись не менее 5 раз. При моделировании водной учитывались критерии подобия: масштабный, Фруда, Рейнольдса, Каши с пересчетом напоров в литниковой чаше. $N_M:N_H=1,42$.

Исследование на металле выполнялось по вновь разработанной пробе. Проба представляет собой последовательно соединенные через пережимы плоские коллекторы с отливкой образца стаканчика. С целью локального задержания неметаллических включений проба на верхней поверхности снабжена тонкими ребрами, расположенными перпендикулярно потоку сплава. Тонкие ребра обеспечивают задержание включений в основании ребра, как в фильтре, и также позволяют легко выявить их при его изломе. Количественная оценка содержания включений производилась замером загрязнений через мерительную лупу и исчислялась в мм² на 1 см² излома. Определение влияния содержания загрязнений в отливках на изменение механических свойств производилось на вырезанных из проб и отливок образцах. Содержание загрязнений в пробе проверялось макроисследованием и испытанием образцов стаканчиков на герметичность. Пробы изготавливались в песчаные формы по CO₂ процессу с тепловой сушкой. Сплав приготавливали в печах сопротивления ПК-90 и индукционных ИАТ-04 с обработкой жидким рафинирующим флюсом состава: 42,5% NaCl, 42,5% KCl, 15% Na₃AlF₆. Жидкие флюсы готовились в флюсоплавильной печи. Высокое качество металла обеспечивалось при приготовлении сплавов в печах ИАТ-04 обработкой гексахлорэтаном под слоем жидкого флюса и в печах ПК-90 обработкой жидким флюсом. Эффективная очистка сплавов позволяет исключить влияние их качества на образование включений в процессе заливки. Качество металла контролировалось по вакуумным пробам и макроисследованием образцов, вырезанных из отливок.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРЫЖКА И МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ. ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ С ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

При изучении процессов движения жидкого металла его состояние рассматривают как ньютоновскую жидкость. Процессы, происходящие при движении воды, с некоторыми допущениями перенесены на расплавленный металл. Поэтому прыжок, образующийся на во-

досливе, аналогичен прыжку, образуемому при заполнении формы.

Падающий бурный поток в нижней части водослива при изменении уклона скачкообразно переходит из бурного состояния в спокойное с изменением формы свободной поверхности и переходом ее через критическую глубину, отвечающей минимуму удельной энергии. Явление резкого перехода потока из бурного в спокойное состояние составляет физическую сущность гидравлического прыжка. В зоне прыжка, в продольно-вертикальном сечении, поток раздваивается, одна часть его, донная, продолжает транзитное течение, создавая подпор, другая поднимается вверх и, достигнув спокойной поверхности, начинает обратное по направлению движение. При этом затрачивается энергия потока на образование вторичного вращательного движения.

Для определения возможности использования гидродинамических процессов в прыжке для очистки расплава в литниковой системе рассмотрено движение элементарной частицы при вращении потока вокруг горизонтальной оси в цилиндрическом канале.

При решении задачи принято, что в металлоприемник с горизонтальной осью с определенным расходом по наклонной щели поступает расплав и после заполнения его объема через слив переливается в форму. Поток, преодолевая силы трения, совершает движение по цилиндрической поверхности металлоприемника. Движение потока вверх по окружности прекращается тогда, когда скорость будет равна нулю. Под действием силы тяжести поток стремится оторваться от поверхности приемника и по параболической кривой падать вниз. Такая картина наблюдается до полного заполнения металлоприемника.

При последующем поступлении расплава в заполненный металлоприемник и переливе из него движущийся поток встречает еще большее сопротивление сил трения и резко снижает скорость движения с постепенным расширением по сечению пристенного слоя к центру вращения. Это обуславливается, в первую очередь, условием неразрывности потока. Внутренний объем расплава силами трения движущегося потока увлекается во вращательное движение. Достигнув определенного подпора в металлоприемнике и снизив скорость до нуля, верхняя пристенная часть потока переливается из металлоприемника в форму, внутренняя часть потока продолжает

вращательное движение, создавая вторичное течение, обратное по направлению. Состояние потока расплава в цилиндрическом металлоприемнике, ограниченном с двух сторон боковыми стенками с некоторыми допущениями описывается уравнением Навье-Стокса в цилиндрических координатах (r, φ, z) . Предположено, что жидкость вращается в гипотетическом сплошном, полностью заполненном цилиндре. Движение жидкости принято установившимся. Учитывая, что рассматривается жидкость с твердыми включениями, близкими по плотности к расплаву, для упрощения решения системы уравнения Навье-Стокса опущены массовые силы.

При входе потока в криволинейную часть канала изменяется направление движения потока. Вследствие этого входная скорость потока раскладывается на составляющие: окружную V , направленную по касательной в направлении φ , радиальную составляющую U , направленную к центру вращения по радиусу r , и осевую составляющую W , направленную по оси z . Для решения уравнения Навье-Стокса с четырьмя неизвестными система дополнена уравнением неразрывности. Для упрощения решения системы уравнений принято дополнительно ряд допущений. Из-за прилипания пристенного слоя жидкости к ограничивающим стенкам все составляющие скорости вблизи стенок равны нулю. Осевые скорости W , направленные от противоположных стенок, в диаметральной плоскости уравниваются. Окружная скорость потока в канале является функцией радиуса, тогда радиальный градиент давления представлен в виде

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} = \omega^2 r, \quad (1)$$

где ω — угловая скорость
 ρ — плотность

Для частиц жидкости, находящихся вблизи криволинейной стенки, окружная скорость вследствие прилипания и сил трения значительно уменьшается. Между тем, направленным внутрь градиент давления остается постоянным. В результате вблизи стенки возникает направленное внутрь к центру вращения потока, радиальное течение. Так как движение жидкости установившееся, то $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$ и $\frac{\partial w}{\partial t} = 0$. На оси поперечной симметрии канала $W = 0$, изменение дав-

ления в окружном канале не происходит, т.е. $\frac{\partial p}{\partial \varphi} = 0$,
и при постоянной угловой скорости

$$\omega = \text{const}, \quad \frac{\partial V}{\partial \varphi} = 0.$$

Исходя из принятых предположений и допущений, уравнения записаны в виде

$$\left. \begin{aligned} U \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{V \partial U}{z \partial \varphi} - \frac{V^2}{z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \left(\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{1}{z} \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{U}{z^2} + \frac{1}{z^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} \right) \\ U \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{V \partial V}{z \partial \varphi} + \frac{UV}{z} &= \gamma \left(\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{z} \frac{\partial V}{\partial z} - \frac{V}{z^2} + \frac{2}{z^2} \frac{\partial U}{\partial \varphi} \right) \\ \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{U}{z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При граничных условиях $U=0, V=0$, при $z=0$

$$U=U(z), \quad V=\omega \cdot z \quad \text{при} \quad z=\frac{B}{2}$$

и решении системы получено

$$z = \frac{V}{U_0} \cdot \rho^{-\frac{\gamma z}{\gamma}} \quad (3)$$

где γ — кинематический коэффициент вязкости.

Как следует из уравнения (3), каждая элементарная частица жидкости в цилиндрическом металлоприемнике совершает движение по логарифмической спирали к центру вращения. Сопоставление сил, действующих на шлаковую частицу в горизонтальном и криволинейном каналах при равных плотностях шлака и расплава, показывает, что на шлаковую частицу в прямолинейном канале действует только динамическая сила в направлении движения потока. При движении в криволинейном канале возникает центростремительная сила. Под действием центростремительной силы шлаковая частица совершает сложное вращательное движение с перемещением к центру вращения, выносом ее на поверхность и задержанием на ней образовавшимся вторичным течением.

При конструировании вертикально-целевой литниковой системы

с использованием гидродинамического эффекта очистки сплава в цилиндрическом металлоприемнике принято безнапорное заполнение формы металлоприемника и вертикальных коллекторов. Для этой цели выходное отверстие из литниковой чаши принято за минимальное расчетное сечение. Вертикально-щелевая литниковая система состоит из литниковой чаши, наклонного металлостока, вертикальных коллекторов с металлоприемниками. Металлоприемники расположены ступенчатым каскадом, что позволяет многократно использовать гидродинамический эффект очистки.

Необходимый расход найден из допустимых критических чисел Рейнольдса при заполнении формы.

Сечение выходного отверстия (F) и напор в литниковой чаше (H_0) определены из расходных характеристик (Q) и критического напора (H_k), предотвращающего воронкообразование при заливке.

$$F = 0,029 Q^{0,8}; \quad (4)$$

$$H_0 = 0,72 Q^{0,4}. \quad (5)$$

Диаметр металлоприемника определен из уравнения прыжковой функции, приравняв его к глубине потока после прыжка, преобразовав и подставив постоянные величины, получено:

$$d = 0,28 \frac{Q^{0,5}}{B^{0,5}} H^{0,25}, \quad (6)$$

где d — диаметр металлоприемника,
 B — ширина металлоприемника,
 H — высота падения потока.

Состояние потока в металлоприемнике проверяется по критерию Фруда.

Для удобства расчета построена номограмма, которая позволяет по расходу и высоте падения металла определять напор и сечение выходного отверстия литниковой чаши, диаметр и ширину металлоприемника.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ЗАДЕРЖАНИЯ ШЛАКА

Согласно методике была разработана и изготовлена модель вертикально-щелевой литниковой системы. Моделирование показало,

что при заполнении первого металлоприемника и переливании из него воды во второй и последующий образуется гидродинамический эффект задержания шлака. Поток закручивается с образованием вторичного течения. Шарики из пенополистирола потоком захватываются и увлекаются в глубину и при входе в криволинейную поверхность металлоприемника перемещаются от пристенной цилиндрической поверхности к центру вращения по скручивающей спирали. При этом наглядно просматривается вращательное движение потока и транзитное течение очищенного погранично-пристенного слоя, переливающегося в последующие металлоприемники.

Внесенные на поверхность шлаковые частицы — шарики пенополистирола — оттесняются от перелива обратным вторичным течением к месту падения струи и удерживаются на поверхности "горкой". В начале заполнения металлоприемников гидродинамический эффект по описанной выше схеме наблюдается во всех металлоприемниках и по мере заполнения формы действие эффекта прекращается сначала в последнем, потом в предпоследнем и т.д. В первом металлоприемнике эффект задержания шлака сохраняется до конца заливки формы с некоторым удлинением закручивающегося потока по глубине. Перенос шлаковых частиц в форму после заполнения первого металлоприемника не наблюдается.

Проверка гидродинамического эффекта задержания "тяжелых" шлаковых частиц выполнена моделированием шлака полосками черной оумаги, которые тяжелее воды. Перемещение шлаковых частиц к центру вращения, вынос их на поверхность и задержание в металлоприемнике подтверждает наличие эффекта шлакозадержания.

Для изучения влияния расхода на эффект шлакозадержания изменяли расходы из литниковой чаши с одновременным изменением угла наклона формы. Установлено, что гидродинамический эффект шлакозадержания действует только при затопленном прыжке и спокойном состоянии потока. С увеличением расхода без увеличения размеров металлоприемника, время задержания шлаковых частиц в первом металлоприемнике снижается. Поток переходит из спокойного состояния в бурное с потерей эффекта шлакозадержания. Наклон формы снижает скорость и способствует созданию спокойного потока.

Изучение гидродинамических процессов вспенивания сплава и задержание пены в шлакоуловителях литниковых систем производи-

лось на моделях литниковых систем для отливки "поршень" новой и старой конструкций.

Применение сеток показало неудовлетворительное задержание ими пены. Вспенивание за сеткой наблюдается с самого начального момента и до конца заливки. В новой литниковой системе происходит значительное снижение образования пены и более высокий эффект ее задержания в первом коллекторе.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕННОГО ШЛАКОЗАДЕРЖАНИЯ НА ОТЛИВКЕ "ПОРШЕНЬ"

По литой пробе изучено влияние расходных характеристик на содержание в отливках неметаллических включений и их влияние на механические свойства отливок и герметичность. Установлено, что изменение расхода при статических напорах до 100 мм не вызывает резкого увеличения содержания включений в отливках и изменения механических свойств. Увеличение статического напора от 200 до 300 мм приводит к резкому увеличению содержания в отливках шлаковых включений и к снижению механических свойств отливок.

Влияние конструкций старой и новой литниковых систем на содержание в отливках шлаковых включений проводилось по залитым пробам. Формы проб заливались непосредственно через литниковые системы в кокилях.

Исследования показали, что новая литниковая система обеспечивает задержание шлака и получение отливок с меньшим содержанием включений по сравнению со старой, а также с аналогичной литниковой системой, но с обратным стояком.

Для проверки результатов исследований по новой литниковой системе в производственных условиях были отлиты опытные партии отливок поршней по 450 шт. с изменением выходного отверстия из литниковой чаши 1,8 см², 2 см², 2,4 см² и соответственно температуры заливки 690+720°C, 720+750°C, 690+720°C. Технологический режим кокиля остался без изменения. От каждой партии отливок в 100 шт. отбирались пробы для технологического контроля. Из различных частей отливки изготавливались образцы на механические свойства и на макроисследование.

Механические свойства образцов отливок, изготовленных по новой технологии, повышаются по сравнению со старой от 15% до 30%.

Общая пористость не превышает 3 балла по шкале В.А.М.

По результатам опытных партий выбраны наиболее оптимальные технологические параметры отливки "поршень" ($F = 2 \text{ см}^2$, $t_3 = 720-750^\circ\text{C}$), которые обеспечивают получение отливок без спаев усадочных и шлаковых раковин.

Промышленное внедрение результатов исследований позволило получать отливки с браком менее 1 %, при одновременном снижении расхода металла на каждую форму до 20 кг.

Эффект шлакозадержания был использован и в других конструкциях литниковых систем с верхним и горизонтальным подводом металла на деталях из алюминиевых сплавов, бронзы и чугуна. На всех внедренных отливках достигнуто снижение брака отливок. Например, на бронзовой отливке "Сегмент" брак до внедрения по шлаковым и газовым раковинам был 25%, после внедрения стал меньше 1 %.

Внедрение в производство результатов исследований позволило снизить убытки от брака цветного литья на 72000 рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования гидродинамического эффекта прыжка, при вращении потока вокруг горизонтальной оси в цилиндрическом металлоприемнике вертикально-целевой литниковой системы, для очистки расплава от шлаковых включений.
2. Получено уравнение движения шлаковой частицы при вращении потока расплава вокруг горизонтальной оси в цилиндрическом металлоприемнике. Шлаковая частица двигается по спирали с перемещением её из пристенного транзитного слоя к центру вращения. Эффект очистки расплава достигается от направленного действия центробежной силы, которая приводит к очистке пристенного транзитного потока с выносом шлаковых частиц на поверхность и задержанием их на поверхности вторичным течением, обратным по направлению.

Разработана методика конструирования и расчета вертикально-целевых литниковых систем повышенного шлакозадержания. Построена номограмма для определения геометрических размеров элементов литниковой системы.

Разработанная конструкция вертикально-целевой литниковой системы внедрена в производство и защищена авторским свидетельством.

4. Разработана и внедрена в производство проба для контроля содержания в отливках твердых неметаллических включений, позволяющая производить отработку технологии и конструкции литниковых систем. Проба защищена авторским свидетельством.
5. С использованием гидродинамического эффекта шлакозадержания разработаны и внедрены в производство литниковые системы с горизонтальным и верхним подводом жидкого металла в форму для легких и тяжелых сплавов.

Материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Кимстач Г.М., Корякин Т.И., Крупин А.Я., и др. "Комбинированный способ рафинирования алюминиевых сплавов" Инф. листок Горьковского МТЦНТИЛ № 53, 1969г., г. Горький.
2. Крупин А.Я. "Печь для приготовления жидких флюсов", Л. "Литейное производство" № 9, 1975г., г. Москва.
3. Крупин А.Я. "Комбинированный способ рафинирования сплава АЛ-4 и его модифицирование, выплавленного в индукционных печах", НИИФОРМТЯМАШ, сб. 9-73-II, 1973г., г. Москва.
4. Крупин А.Я. "Повышение шлакозадержания литниковых систем для отливок из алюминиевых сплавов". НИИФОРМТЯМАШ, сб. 9-73-19, 1973г., г. Москва.
5. Крупин А.Я. "Влияние отдельных технологических факторов на образование неметаллических включений в отливках из алюминиевых сплавов", НИИФОРМТЯМАШ, сб. 2-74-4, 1974г., г. Москва.
6. Крупин А.Я. "Литниковая система для отливки поршней из алюминиевых сплавов", МТЦНТИЛ, сб. 25-74, г. Калуга.
7. Крупин А.Я. "Проба для контроля герметичности окисных плен и твердых неметаллических включений". Изобретение, авт. св. 448360.
8. Крупин А.Я., Мосиянов А.М. "Вертикально-целевая литниковая система". Изобретение, авт. св. 505 499.
9. Крупин А.Я., Булатов В.А., Пантелеева А.Н. "Расширяющиеся литниковые системы для бронзовых и чугунных отливок". Журнал "Литейное производство" № 9, 1975г., г. Москва.
10. Крупин А.Я. "Гидродинамический эффект шлакозадержания в ме -

таллоприемнике литниковых систем". Научно-техническая конференция Калужского филиала МВТУ им. Баумана, тезисы доклада 1977г., г.Калуга.

11. Мосиянов А.М., Крупин А.Я. "Методика конструирования и расчета литниковых систем повышенного шлакозадержания". Научно-техническая конференция Калужского филиала МВТУ им.Баумана, тезисы доклада 1977г., г.Калуга.
12. Крупин А.Я., Мосиянов А.М. "Определение загрязнений в отливках на литой пробе". Семинар "Контроль качества и меры предупреждения дефектов отливок". МДНТП, им.Дзержинского, 1977г.
13. Мосиянов А.М., Крупин А.Я., Ворской Ю.И. "Использование гидродинамического эффекта для шлакозадержания литниковых систем". Семинар "Контроль качества и меры предупреждения дефектов отливок" МДНТП, им. Дзержинского, 1977г.
14. Мосиянов А.М., Крупин А.Я. и др. "Пути повышения качества кокильных отливок из алюминиевых сплавов", Тезисы докладов I Всесоюзного научно-технического съезда литейщиков, "Специальные виды литья", г.Минск, 1978г.

Д 78717 от 23.02.79, объем I п.л.
тип.МВТУ заказ 364 тир.100