

М 255574

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Виталий Ильич ГАЛКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ В ЖИДКИХ
СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ
ДЛЯ ПЛАВИЛЬНО-РАЗДАТОЧНЫХ ТИГЛЕЙ

(05.16.04 — Литейное производство)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель —
лауреат Государственной премии, кандидат технических
наук, доцент ЖЕВТУНОВ П. П.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор ЧУРСИН В. М.
кандидат технических наук КОРОТКОВ Р. А.

Ведущее предприятие—Указано в решении Ученого Совета.

Автореферат

1974 г.

Защита диссертации
на заседании
комиссии производ-
ственного Краси-
ни Н. Э. Бау-
манского ин-
ститута,
ул., дом 5.

197 г.
Организа-
ция Тру-
да име-
ющаяся

Ваши отзы-
вы по указ-

ба выс-

С диссерта-

ции.

Ученый

доктор техни-

В Ю. А.

M255544



1255574

Гапкин В.И. Исследование

-3-

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В соответствии с Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства на 1971-1975 гг. предусматривается увеличение объема производства отливок из алюминиевых сплавов в постоянные формы - методами литья под давлением и в кокиль. В цехах литья под давлением и в кокиль для плавки и раздачи алюминиевых сплавов широко применяют стальные и чугунные тигли, металлопроводы, черпаки, мешалки, чехлы термопар, пресс-стаканы и поршни. Однако высокая химическая активность алюминиевых расплавов уменьшает долговечность этих деталей, и особенно тиглей. В этих условиях применение традиционных серых чугунов и сталей для их изготовления становится недопустимым. Повышение стойкости тиглей уменьшает затраты на их изготовление и ремонт плавильно-раздаточного оборудования, сокращая простой и повышая производительность литейных машин, улучшает качество отливок из алюминиевых сплавов. Все это является важным резервом в производстве отливок из алюминиевых сплавов и имеет большое народнохозяйственное значение. Изыскание и разработка материалов, способных противостоять разъедающему действию жидких алюминиевых сплавов в продолжении длительного времени, является актуальной задачей, решению которой и посвящена данная работа.

Цель работы. Целью работы является изучение возможностей уменьшения растворимости материалов плавильно-раздаточных тиглей, выяснение природы воздействия жидких алюминиевых сплавов на твердые железоуглеродистые сплавы и разработка на этой основе эффективных мер по повышению стойкости тиглей.

Методы исследования. Для исследования процессов растворения материалов тиглей в жидких алюминиевых сплавах разработан комплексный (количественный и качественный) метод, включающий ряд частных методик. Для количественной оценки кинетики растворения разработана специальная установка, допускающая непрерывную синхронную автоматическую запись данных опыта о количестве растворенного материала в алюминиевом расплаве без нарушения стационарного режима растворения. Качественно воздействие жидкого алюминиевого сплава на исследуемые твердые материалы оценивалось по результатам металлографического, рентгеноструктурного и локально рентгеноспектрального анализа.

Научная новизна. Впервые на основании теоретического и экспериментального изучения процессов растворения железоуглеродистых сплавов в жидких сплавах алюминия разработана методика и получены аналитические зависимости для выбора стойких материалов тиглей. В соответствии с разработанной методикой расчета скорости растворения экспериментально определены константы скорости растворения материалов для оценки их стойкости. В работе даны качественная характеристика устойчивости материалов и трактовка механизма их растворения в промышленном жидком сплаве алюминия.

Практическая ценность работы. Результаты методических разработок и исследований, приведенные в диссертации, могут служить практическим руководством производителям при выборе материалов для тиглей плавильно-раздаточных печей, металлопроводов к дозаторам, машинам литья под низким давлением и насосов, чехлов термопар, ванн и подвесок алитирования, а также других деталей, работающих в контакте с расплавленным алюминием. Разработанная установка позволяет широкому кругу исследователей быстро и с небольшими затратами, количественно и качественно оценить стойкость различных материалов в агрессивных средах.

Реализация результатов работы. На основе рекомендаций диссертационной работы на Подольском механическом заводе им. М.И.Калинина проведены промышленные испытания раздаточных тиглей из разработанного чугуна у машин литья под давлением. Положительные результаты промышленных испытаний приняты к внедрению.

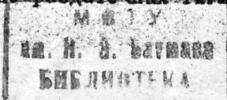
Апробация работы. Диссертационная работа рассматривалась на заседаниях кафедры "Машины и технология литейного производства" МВТУ им.Баумана. Материалы диссертации доложены на III научно-технической конференции в Калуге (1973 г.), на техническом совещании в Центральной литейной лаборатории Московского автомобильного завода им.Лихачева (ЗИЛ) в 1974 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы две статьи.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, изложена на 191 странице машинописного текста, содержит 54 рисунка, 28 таблиц, список литературы из 97 наименований и приложения.

Основное содержание работы

Глава I посвящена анализу условий эксплуатации и причин выхода из строя плавильно-раздаточных тиглей, а также данных о влиянии



растворенного железа на свойства отливок из алюминиевых сплавов, кинетики растворения твердых металлов в жидких алюминиевых сплавах и методов защиты изделий от растворения. На основании наблюдений и исследований, проведенных на ряде предприятий страны установлено, что основными причинами выхода чугунных тиглей из строя являются: их поверхностное растворение жидким алюминиевым сплавом, образование слоя окалины со стороны нагрева, рост, коррозия и трещины.

Указанные причины характерны для всех заводов с разницей лишь в преимущественном влиянии каких-либо из них, связанных с конкретными условиями эксплуатации.

Систематизация данных о случаях выхода из строя тиглей показала, что примерно до 95% их общего числа объясняются растворением материала тигля в алюминиевых расплавах. Работоспособность тиглей в основном определяется кинетикой растворения железа, поэтому материалы должны обладать высокой жаростойкостью, быть химически инертными по отношению к алюминиевым расплавам, иметь удовлетворительные литейные свойства и обрабатываемость резанием при относительно низкой стоимости. Между тем применяемые на практике серый чугун и сталь удовлетворяют только последние два требования, не обладая ни жаростойкостью, ни стойкостью в алюминиевых расплавах.

Поиски стойких сплавов в настоящее время в большинстве случаев носят эмпирический характер, поскольку нет данных и методики исследования кинетики процессов растворения материалов в жидком алюминии и его сплавах.

Анализ имеющихся литературных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. Опубликованные общие данные о влиянии состава твердого и жидкого сплавов на кинетику процесса растворения во многом противоречивы.

2. Методика, позволяющая количественно и качественно оценить стойкость различных материалов в алюминиевых расплавах практически отсутствует.

3. Имеются лишь отдельные отрывочные данные о кинетике растворения железоуглеродистых сплавов в алюминиевых расплавах.

4. Механизм разрушения твердых металлов в расплавах почти не изучен, научно-обоснованные меры по увеличению стойкости твердых материалов в расплавах отсутствуют.

В соответствии с целью работы и проведенным анализом литера-

турного материала в работе поставлены следующие основные задачи исследования:

1. Разработать метод расчета скорости растворения железоуглеродистых сплавов в алюминиевых расплавах и методику ее непрерывного экспериментального определения по ходу опыта.
2. Исследовать влияние состава и структуры железоуглеродистых сплавов, содержания в них легирующих элементов, состава и температуры алюминиевого расплава, а также состояния поверхности твердого металла, и времени его выдержки на кинетику процесса растворения.
3. Исследовать механизм взаимодействия железоуглеродистых сплавов с алюминиевыми расплавами по структуре, фазовому составу и распределению элементов в переходном слое на границе их взаимодействия.
4. Разработать практические рекомендации по изготовлению тиглей и других деталей из стойкого чугуна.

Глава II посвящена исследованию кинетики растворения железоуглеродистых сплавов в жидких сплавах алюминия. До настоящего времени не было предложено уравнение, описывающее растворение железоуглеродистых сплавов в алюминиевых расплавах. Это объясняется сложностью самого процесса растворения, в котором по классической теории гетерогенных реакций отмечаются по меньшей мере три основных стадии:

1. Перенос реагирующих веществ к границе раздела фаз;
2. Реакция на границе их раздела;
3. Удаление продуктов реакции из зоны взаимодействия.

Скорость реакций на этих стадиях и, следовательно, стойкость твердых металлов и сплавов в расплавах зависят от многих действующих одновременно факторов: металлургических, связанных с природой металла и расплава (составом, структурой, состоянием поверхности) и технологических, связанных с условиями растворения (температурой, площадью поверхности контакта, скоростью движения расплава относительно твердого металла, объемом расплава, временем).

В реальных условиях растворение железа в алюминии будет происходить до момента достижения концентрации насыщения при данной температуре.

В работе выведено уравнение, описывающее кинетику растворения железоуглеродистых сплавов в алюминиевых расплавах:

$$G = G_n (1 - e^{-K_n \frac{S}{V} \cdot t^n}) \quad (I)$$

где K_p - константа скорости растворения; n - кинетический параметр процесса растворения; S - поверхность контакта; V - объем расплава; G и G_n - соответственно количества железа в не-насыщенном и насыщенном расплавах.

Как следует из уравнения (1), кинетика растворения железо-углеродистых сплавов зависит от величины поверхности S , объема расплава V и от кинетических параметров процесса растворения. При любых значениях $K_p > 0$ и $n > 0$, величина G стремится к G_n по экспоненциальной кривой, если $t \rightarrow \infty$

Уравнение (1) содержит три неизвестных: G_n , K_p и n . Значение массы G_n , соответствующей концентрации железа в насыщенном расплаве можно определить по диаграмме состояния или экспериментально.

Константу скорости растворения K_p и параметр n можно определить из уравнения (1) после логарифмирования

$$K_p = \frac{[\lg G_n - \lg(G_n - G)]}{t^n \cdot \frac{S}{V} \cdot \lg e} \quad (2)$$

$$n = \frac{\lg \left[\frac{\lg G_n - \lg(G_n - G_1)}{\lg G_n - \lg(G_n - G_2)} \right]}{\lg \left(\frac{t_1}{t_2} \right)} \quad (3)$$

Величина константы скорости растворения K_p , являющейся основной кинетической характеристикой процесса растворения, определяется скоростями физико-химических процессов, происходящих при растворении. Кинетический параметр K_p может служить критерием стойкости материалов в алюминиевых расплавах. Из уравнения (2) видно, что для получения сопоставимых результатов для оценки скорости растворения различных материалов в одном и том же расплаве, или одного и того же материала в различных расплавах необходимо проводить испытание при одинаковых значениях $\frac{S}{V}$.

Дифференцируя уравнение (1) G по t и преобразуя, получим скорость растворения

$$W = \frac{K_p \cdot \frac{S}{V} \cdot n \cdot (G_n - G)}{t^{n-1}} \quad (4)$$

где $m = 1 - n$

Уравнение (4) показывает зависимость скорости процесса растворения: от значений кинетических параметров растворения K_p и n ; поверхности образца S ; объема расплава V ; абсолютного времени t и степени насыщения алюминиевого расплава железом ($G_n - G$).

Анализ уравнения (4) показывает, что максимальная в начальный период взаимодействия ($t=0$) скорость растворения с течением времени t^m уменьшается, т.е. скорость растворения уменьшается с ростом толщины слоя интерметаллидного соединения. Выведенные уравнения позволяют количественно оценить стойкость материалов, раскрывая сложность процесса их растворения.

Глава III посвящена разработке методики определению стойкости материалов в алюминиевых расплавах. Для изучения скорости растворения вначале были испытаны применяемые в настоящее время различные марки сталей и чугунов. Затем исследовали влияние хрома, алюминия, фосфора на стойкость серого чугуна. Испытания проводили в лабораторных условиях на образцах. При выборе формы и размеров образцов стремились получить наибольшую поверхность образца на единицу веса и сохранить ее в процессе испытания постоянной. Из опытных болванок, соответствующих характерной толщине стенок тиглей, вытачивали образцы в виде пустотелых цилиндров длиной 32 мм, с внешним диаметром 40 мм и внутренним - 37 мм. Все образцы растворяли в неподвижном расплаве АЛ2 при 750°C в алундовом тигле. Вес расплава АЛ2 для однократного испытания составлял 700 ± 5 г. Отношение поверхности образца, контактирующей с расплавом АЛ2, к объему расплава ($\frac{S}{V}$), было постоянным для всех исследованных материалов и составляло $0,28 \text{ см}^{-1}$. Общая выдержка всех образцов в расплаве 120 мин была также одинаковой.

В работе применяли следующие методы оценки стойкости: 1) количественный, 2) качественный, 3) эксплуатационный.

Для количественного выражения скорости растворения материалов разработан непрерывный весовой метод определения количества металла, переходящего в расплав. Для этого использовали метод гидростатического взвешивания растворяющихся образцов в расплаве с помощью специально созданной тензометрической установки. Установка состоит из электропечи типа СШОЛ I.I, 6/П-МІ, чувствительного элемента в виде стальной консольной пружинной балки с наклеенными тензодатчиками сопротивления типа 2ФКПА-20 200 Гб, тензометрического усилителя УТ 4-І и одноточечного потенциометра ЭППО9МЗ. Чувствительный элемент преобразует изменение веса исследуемого образца в расплаве в электрический сигнал. По мере потери веса образца в расплаве, деформация упругой пружины уменьшалась и это вызывало разбаланс моста тензодатчиков. Снимаемое напряжение, пропорциональное потери веса образца, после усилителя УТ 4-І подавалось на вход потенциометра ЭППО9МЗ для записи. Градуировка и конт-

роль процесса растворения производились непосредственно во время эксперимента путем нагружения и разгружения тензометрической балки контрольной массой 1 г.

На результат измерений потери веса образца влияет вес промежуточного интерметаллидного слоя, увеличение плотности расплава и поверхностное натяжение. Для определения истинной потери веса с учетом этих факторов выведено расчетное уравнение. Расчетные потери веса от фактических отличались незначительно. Максимальная погрешность определения количества железа, растворенного в расплаве, составляет 13,5%.

Взаимодействие материалов исследовали качественно, определяя микроструктуру, микротвердость, фазовый состав и распределение элементов на границе раздела алюминия и железоуглеродистых сплавов.

Металлографические исследования структурных изменений на границе фаз выполняли на микроскопе МИМ-8 при увеличении $\times 200$; микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 50 г.

Рентгеноструктурный анализ фаз проводили на установке УРС-60 в камере РКД в фильтрованном хромовом излучении.

Распределение железа, алюминия, кремния и хрома в зоне взаимодействия получено микрорентгеноспектральным методом на микрозонде "Сатеса". Количественно содержание элементов рассчитывался на ЭВМ "Наири" с учетом поправки на поглощение и возбуждение другими элементами сплава и на атомный номер элемента.

Окончательное заключение о пригодности материала для работы в среде алюминиевого сплава дано на основании испытания его в производственных условиях.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния металлургических и технологических факторов на кинетику процесса растворения армко-железа, среднеуглеродистых, высокоуглеродистых и легированных сталей, чугунов с пластинчатым и шаровидным графитом, а также легированных марганцем, фосфором, хромом, никелем, алюминием, совместно хромом и алюминием, и хромом и фосфором. Всего испытано 37 марок сталей и чугунов.

Получены кинетические зависимости их растворения в расплаве АЛ2 и содержание железа в интерметаллидном слое при 750°C от времени выдержки. Количество железа в интерметаллидном слое незначительно по сравнению с растворенным железом в расплаве. Для расче-

тов можно учитывать только растворенное железо (в расплаве). Кинетическая характеристика растворения исследованных материалов в жидком сплаве алюминия описывается уравнением (I). Стойкость материалов оценивали по константе скорости растворения (табл. I).

Экспериментально установленная макрокинетическая характеристика, выражаемая значениями суммарной константы скорости растворения K_p , показывает, что на процесс растворения влияет как образование интерметаллидного слоя, так и одновременное растворение этого слоя в расплаве. Исследования показали (табл. I), что различные железоуглеродистые сплавы имеют различные значения константы скорости растворения K_p . Различия в значениях K_p следует объяснить двумя факторами:

- а) начальной структурой исследованных материалов;
- б) кристаллохимическими изменениями, происходящими в переходной зоне.

Установлено заметное различие в значениях K_p в зависимости от содержания углерода и фосфора в материале, особенно при содержании углерода до 1%. Дальнейшее увеличение содержания углерода снижает константу скорости растворения незначительно, так как по мере роста содержания углерода увеличивается количество относительно более стойкой перлитной структурной составляющей. Эта тенденция сохраняется и при растворении чугунов с ферритной, ферритоперлитной и перлитной структурной металлической основой.

Добавка марганца в серый чугун не оказывает заметного влияния на его растворение в расплаве АЛ2.

Весьма значительное снижение константы скорости растворения обнаруживается при легировании серого чугуна фосфором (до 1%). Дальнейшее увеличение фосфора до 1,5% не снижает величину K_p . При легировании небольшими количествами хрома и никеля стойкость стали и чугуна повышается, поскольку они способствуют получению перлитной структуры. Однако дефицитность никеля ограничивает его применение. При выборе легирующих элементов учитывали литейные свойства, обрабатываемость резанием серого чугуна, доступность легирующего компонента, экономичность легирования и его влияние на жаростойкость чугуна. Совокупности этих требований из всех недефицитных элементов удовлетворяют лишь алюминий, хром и фосфор. Для определения влияния алюминия и хрома использовали четыре вида чугунов. Содержание алюминия изменялось в пределах 3-8%, хрома 1,30-3,70%. Содержание алюминия в сером чугуне в изученных преде-

Таблица I

№ по пор.	Материал образца	Характер структуры		Кинетические параметры растворения	
		графит	металлическая основа	в Кр см/мин	0,45 п
1	Армко-железо	-	Крупные зерна феррита	0,175	0,445
2	Сталь 35Л	-	Феррит+перлит	0,115	0,452
3	Сталь У8	-	Перлит	0,112	0,445
4	Сталь 35ХГСЛ	-	Сорбитообразный перлит	0,004	0,452
5	Серый чугун	Эвтектический	Феррит+перлит	0,112	0,45
6	Серый чугун	Пластинчатый	Феррит+перлит	0,098	0,451
7	Ковкий чугун	Хлопье-видный	Феррит	0,172	0,45
8	Перлитный чугун	Пластинчатый	Перлит+фосфидная эвтектика	0,096	0,449
9	Высокопрочный чугун с шаровидным графитом	Шаровидный	Перлит+феррит	0,172	0,45
10	Маргеновистый чугун	Междендритный	Перлит+феррит	0,107	0,454
11	Фосфористый чугун	Междендритный	Перлит+фосфидная эвтектика, мелкие зерна феррита	0,077	0,45
12	Фосфористый чугун	Междендритный	Перлит+фосфидная эвтектика, мелкие зерна феррита	0,077	0,45
13	Жаростойкий чугун	Междендритный	Перлит+феррит	0,089	0,45

лах незначительно повышает стойкость чугуна, так как дает крупнопластинчатый графит в ферритной основе. Легирование чугуна хромом до 2,9% позволяет значительно повысить его стойкость, но хром способствует отбелу серого чугуна.

Дальнейшее увеличение стойкости и улучшения обрабатываемости чугуна достигнуто путем совместного легирования чугуна алюминием и хромом или введением в низкохромовый чугун фосфора. При совместном легировании чугуна алюминий подавляет отбеливающее

влияние хрома.

При установлении оптимального состава чугунов использовали метод математического планирования экспериментов. Параметром оптимизации была выбрана потеря веса образца в расплаве. Величину потери веса образцов определяли в зависимости от двух факторов - в первом случае от процентного содержания хрома X_1 и алюминия X_2 , а во втором случае - хрома X_1 и фосфора X_2 . После реализации полного факторного эксперимента получены уравнения регрессий, описывающие зависимость потери веса образцов от содержания легирующих элементов в сером чугуне.

Для хромоалюминиевого чугуна

$$G = 16,2 - 0,68X_1 - 0,78X_2 - 0,32X_1 \cdot X_2$$

Для хромофосфористого чугуна

$$G = 16,1 - 0,575X_1 - 0,425X_2 - 0,0575X_1 \cdot X_2$$

Анализ этих уравнений показывает, что с увеличением процентного содержания хрома снижение потери веса образцов происходит более интенсивно, чем при изменении содержания алюминия или фосфора.

На основании проведенных исследований методом математического планирования экспериментов были установлены следующие оптимальные составы чугунов:

хромоалюминиевый чугун - C 3,2-3,4%; Si 1,8-2,0%; Mn 0,5-0,7%; P 0,1-0,15%; S 0,03-0,05%; Cr 2,8-3,2% и Al 5-7%;

хромофосфористый чугун - C 3,2-3,4%; Si 2,4-2,8%; Mn 0,5-0,7%; S 0,01-0,03%; P 1,6-1,8% и Cr 1,4-1,8%.

Совместное легирование чугуна Cr, Al и Ni, Cr, Al и P и Cr, Ni, Ti и Mn не приводит к значительному увеличению стойкости. Значения кинетических параметров легированных чугунов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п.п.	Чугун	Кинетические параметры растворения	
		в Kr см/мин 0,45	n
1	Алюминиевый	0,0918	0,46
2	Хромистый	0,0727	0,455
3	Хромоалюминиевый	0,0783	0,45
4	Хромофосфористый	0,059	0,448
5	Сложнолегированный	0,1	0,454
6	Сложнолегированный	0,08	0,45

Наименее стойкими были образцы из армко-железа, ковкого чугуна и чугуна с шаровидным графитом.

Относительно низкую растворимость обнаружили чугуны, легированные хромом, фосфором, совместно хромом и алюминием или хромом и фосфором. Стали и серые чугуны по растворимости занимали среднее положение между названными материалами с большим или низким значением K_p . Пониженную растворимость образцов из серого чугуна по сравнению со сталью 35Л следует объяснить влиянием графитных включений.

Высокую растворимость образцов из чугунов с компактным графитом можно объяснить его относительно меньшей поверхностью.

Низкую растворимость легированных чугунов следует объяснить структурным изменением основы и содержанием карбидов.

Можно рекомендовать для изготовления тиглей хромоалюминиевый и хромофосфористые чугуны, обладающие удовлетворительными литейными и технологическими качествами. По окислительности они намного превышают серый чугун. Установлено, что предварительное окисление хромоалюминиевого чугуна значительно повышает его стойкость в расплавах алюминия.

В работе показано, что среди испытанных литейных алюминиевых сплавов наиболее агрессивными являются алюминиево-кремниевые, агрессивность увеличивается с увеличением содержания кремния. Кремний, уменьшая толщину переходного слоя, увеличивает константу скорости растворения материалов. Уменьшение толщины интерметаллидного слоя можно объяснить ускоряющим действием кремния на растворение интерметаллидного слоя в расплаве. При незначительной толщине интерметаллидного слоя его защитное действие не проявляется.

Увеличение температуры жидкого металла дополнительно ускоряет процесс растворения. Показано, что исследуемый чугун при 700°C является довольно стойким, а при 750°C и выше потери веса резко увеличиваются по экспоненциальной зависимости.

Результаты исследований позволили выяснить характер растворения материалов и служат основой для выбора материалов для плавно-раздаточных тиглей.

Глава V содержит результаты исследования механизма взаимодействия твердых железоуглеродистых сплавов и расплава АЛ2 с помощью металлографических, рентгенографических и микрорентгено-спектральных методов. Установлено, что в результате физико-хими-

ческого взаимодействия на всех образцах образуются переходные слои интерметаллидных соединений. Измерена микротвердость от основы материала до алюминиевого сплава - микротвердость стального образца при приближении к границе раздела фаз повышается. В зоне стального образца около границы раздела хорошо видна темная полоска с твердостью, близкой твердости перлита, так как интерметаллидное соединение оттесняет углерод и перед ним образуется науглероженная полоса перлита. Микротвердость и микроструктура переходного слоя стального образца показывают, что он состоит из двух слоев, причем микротвердость слоев не соответствует микротвердости фаз на диаграмме состояния $Fe-Al$. При растворении образцов из других материалов не обнаружено особых изменений структуры самой матрицы.

С повышением содержания углерода в стали толщина переходного слоя уменьшается, что в основном связано с увеличением в структуре стали количества перлита. С этой точки зрения перлит наиболее желательная основа материала.

При растворении чугуна графит диффундирует к поверхности образца и постепенно выходит в расплав. При этом мелкопластинчатый графит концентрируется на границе диффузионного слоя, образуя своеобразный барьер, затрудняющий продвижение фронта диффузионного слоя в сторону матрицы и задерживает растворение чугуна.

Компактный или шаровидный графит таких барьеров не создает, и сравнительно легко проходит сквозь интерметаллидный слой в алюминиевый расплав, почти не препятствуя диффузии алюминия в чугун.

При растворении образцов хромистого и хромосилициевого чугунов выявилось тормозящее влияние карбидных включений, они не растворяются в алюминиевом расплаве. Фосфидная эвтектика с ним также не взаимодействует. На местах, где имеется фосфидная эвтектика, рост интерметаллидного слоя задерживается. Наличие в чугуне такой неразорванной сетки эвтектики делает чугун более стойким к воздействию алюминиевого расплава.

Рентгенографические исследования показывают, что в случае развитой диффузионной зоны, т.е. при погружении в Al_2 стали 35Л и серого чугуна образуются в основном интерметаллидные фазы Fe_2Al_3 и $FeAl_3$. На образце хромосилициевого чугуна отмечены только следы соединений Fe_2Al_3 и $FeAl_3$. Результаты послойного рент-

геноструктурного фазового анализа показали картину распределения фаз по глубине переходного слоя.

Диффузионные процессы и характер распределения железа, алюминия и кремния и хрома в зоне взаимодействия исследованы на микроскопе "Сатеса". Получено качественное и количественное распределение элементов в зоне, изображения в поглощенных электронах, характеристических лучах и интенсивности спектральных линий элементов. Анализ позволил отметить следующие закономерности. Толщина и конечное строение переходного слоя, образующегося при погружении в расплав АЛ2 стальных и чугуновых образцов, зависит от состава и структуры погружаемого материала. В формировании переходного слоя, кроме железа и алюминия, принимают участие основные компоненты материала и расплаве.

В переходном слое имеет место двусторонняя диффузия железа, алюминия и кремния. Последние, пройдя интерметаллидный слой, выходят к наружной поверхности материала и образуют интерметаллидные фазы. Таким образом, рост слоя осуществляется как в глубь металла за счет перемещения алюминия и кремния, так и во вне его за счет перемещения атомов железа.

Скорость процесса растворения определяется не только диффузией атомов железа в гомогенных областях интерметаллидного слоя, но и переходом их через поверхность раздела фаз. Последний связан с перестройкой решетки металла в интерметаллидную, т.е. кристаллохимическим актом. При подобной перестройке решетки затрачивается тем меньшая работа, чем меньшие перемещения атомов необходимы при фазовом превращении. Процесс растворения при этом идет тем быстрее, чем меньше потенциальные барьеры, преодолеваемые атомами при фазовых переходах.

Резюмируя изложенное, следует отметить, что процесс растворения железных сплавов в алюминиевом расплаве можно разделить на следующие стадии:

- 1) разрыв связей атомов железа в кристаллической решетке твердого металла;
- 2) возникновение интерметаллидных соединений;
- 3) диффузия атомов железа в слое интерметаллидного соединения;
- 4) переход атомов железа из слоя соединения в алюминиевый расплав;
- 5) диффузия атомов железа в пограничном диффузионном слое расплава.

Конечная структура и толщина слоя интерметаллидных соединений зависит от соотношения скоростей процесса на этих стадиях. Рентгенографические и микрорентгеноспектральные исследования образцов стали 35Л, серого и хромоалюминиевого чугунов показали, что при быстром растворении стали 35Л в расплаве на границе присутствуют две фазы Fe_2Al_3 и $FeAl_3$, а при медленном растворении хромоалюминиевого чугуна только тройная фаза $Fe_mAl_nSi_p$. Образующиеся отдельные зоны в переходном слое создают структурные барьеры, препятствующие взаимному проникновению компонентов металлического расплава и растворяемого материала. Прочность связи атомов в кристаллической решетке и реакционная способность определяют тип процесса растворения и его скорость.

Глава VI содержит результаты промышленного опробования тиглей из хромофосфористого чугуна следующего состава: С - 3,6%; Si - 2,6%; Mn - 0,6%; S - 0,05%; P - 1,6% и Cr - 1,6%. Производственные испытания показали, что работоспособность тиглей из хромофосфористых чугунов в 2 раза выше, чем из обычных серых.

Технико-экономические расчеты показывают, что условная годовая экономия на Подольском механическом заводе им. М.И. Калинина от замены тиглей из серого чугуна на хромофосфористые составляет 20 320 руб.

В ы в о д ы

1. Исследованы причины выхода из строя тиглей и других деталей, работающих в контакте с алюминиевыми расплавами. Установлено, что основной причиной выхода их из строя является растворение в жидком алюминиевом сплаве.

2. Составлены уравнения для определения константы скорости растворения материалов, позволяющие оценить стойкость материалов определенного состава по константе скорости растворения.

3. Разработана методика и создана экспериментальная установка для определения скорости растворения материалов в алюминиевых расплавах в зависимости от различных факторов.

4. Исследовано влияние на кинетику растворения углерода, марганца, фосфора, формы графита и характера структуры металлической основы материалов.

5. Установлено, что изготовление плавно-раздаточных тиглей из ковких чугунов и чугунов с шаровидным графитом и ферритной структурой не рентабельно из-за их быстрого растворения.

6. Установлено, что наиболее благоприятной структурой сталей и чугунов является перлитная. Мелкопластинчатый графит и сетка фосфидной эвтектики значительно снижают растворимость чугуна в алюминиевом расплаве.

7. Исследовано влияние алюминия и хрома в сером чугуне на константу скорости растворения. Алюминий в сером чугуне незначительно снижает константу K_p . Влияние хрома в 8-10 раз сильнее, чем алюминия. Наибольший эффект снижения константы скорости растворения достигается при содержании хрома в чугуне 2,5-3,0%.

8. Алюминий в низкохромистом чугуне улучшает механическую обрабатываемость, снижает хрупкость и константу скорости растворения чугуна.

9. Введение фосфора в низкохромистый чугун повышает стойкость чугуна. Установлена оптимальная концентрация фосфора 1,5-1,9%.

10. Установлено, что по мере увеличения содержания кремния в жидком алюминии толщина переходной зоны на границе взаимодействия уменьшается, а константа скорости растворения увеличивается.

11. С помощью металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов изучены структура, состав зоны взаимодействия и распределение элементов на границе взаимодействия.

12. Результаты сравнительных исследований стойкости хромофосфористых чугунов в лабораторных условиях подтвердились промышленными испытаниями на раздаточных тиглях к машинам литья под давлением. Замена тиглей из серого чугуна хромофосфористым или хромоалюминиевым позволяет увеличить срок службы тиглей в 2 раза, сократить непроизводительные затраты на ремонт и сократить простой оборудования.

Материалы диссертации опубликованы:

1. Галкин В.И., Жестунов П.П., Соловьев Е.С. Влияние легирующих элементов на стойкость серого чугуна в алюминиевых расплавах. "Литейное производство" № 10, 1973.

2. Галкин В.И., Жестунов П.П., Зильберман А.Г., Богословский И.Д. Взаимодействие железоуглеродистых сплавов с расплавом АЛ2. "Литейное производство" № 12, 1974.

