

05.321

A239



Министерство высшего и среднего специального образования  
С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Инженер Б.А. АГЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СВИНЦА В ЖЕЛЕЗЕ  
И ЕГО ЖИДКИХ БИНАРНЫХ СПЛАВАХ

Специальность 05.321-"Металлургия черных металлов"  
(Диссертация написана на русском языке)

05.16.03

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук

Челябинск  
1971

ЧПИ

669.1545-194



Работа выполнена в лаборатории физико-химических исследований Челябинского научно-исследовательского института металлургии.

Научный руководитель-проф., докт. техн. наук А.Н. Морозов.

Официальные оппоненты:

проф., докт. техн. наук Д.Я. Поволоцкий;

канд. техн. наук, доцент Г.Г. Михайлов.

Ведущее предприятие - Челябинский металлургический завод.

Автореферат разослан "23" октября 1971г.

Защита диссертации намечена на 1 декабря 1971г.  
на заседании Ученого Совета металлургического факультета Челябинского политехнического института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, пр. В.И. Ленина, 76,  
телефон 39-39-64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ.

Просим Вас и Ваших сотрудников, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать свои отзывы в 2-х экземплярах, заверенных печатью Вашего учреждения.

Ученый секретарь Совета -

доцент, канд. техн. наук *Мешар* В.Н. Гончар



Министерство высшего и среднего специального образования  
С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

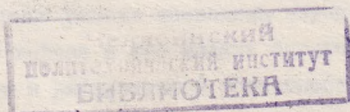
Инженер Ю. А. АГЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СВИНЦА В ЖЕЛЕЗЕ  
И ЕГО БЛИЗКИХ БИНАРНЫХ СПЛАВАХ

Специальность 05.321- "Металлургия черных металлов"

( Диссертация написана на русском языке)

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



Челябинск  
1971

Работа выполнена в лаборатории физико-химических исследований Челябинского научно-исследовательского института металлургии.

Научный руководитель-проф., докт. техн. наук А.Н. Морозов.

Официальные оппоненты:

проф., докт. техн. наук Д.Я. Поволоцкий,

канд. техн. наук, доцент Г.Г. Михайлов.

Ведущее предприятие - Челябинский металлургический завод.

Автореферат разослан "23" октября 1971г.

Защита диссертации намечена на 1 декабря 1971г.  
на заседании Ученого Совета металлургического факультета Челябинского политехнического института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, пр. В.И. Ленина, 76,  
телефон 39-39-64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧИИ.

Просим Вас и Ваших сотрудников, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать свои отзывы в 2-х экземплярах, заверенных печатью Вашего учреждения.

Ученый секретарь Совета -

доцент, канд. техн. наук *Момар* В.Н. Гончар



В последние годы в машиностроительной промышленности и СССР и развитых капиталистических стран все большее распространение получают стали с добавками свинца, позволяющими повысить производительность обработки резанием на 20-50% и улучшить качество поверхности готовых изделий без изменения механических свойств сталей. По существующему мнению свинец играет роль смазки между режущим инструментом и деталью, вследствие чего сильно уменьшается трение, усилие резания и температура режущей кромки инструмента. Применение свинцоводержащих сталей позволяет увеличить срок службы режущего инструмента в 2-3 раза.

В промышленных условиях свинец вводят в сталь в виде дроби в струю металла при его разливке из ковша по изложницам сифонным способом или сверху. До настоящего времени не было единого мнения о характере распределения свинца в жидкой стали. Одни полагают, что свинец усваивается жидкой сталью растворяясь в ней, другие считают, что он только частично растворяется, а частично образует с жидким металлом стойкие эмульсии.

В литературе отсутствуют достаточно надежные данные о растворимости свинца в жидком железе и его сплавах, что не позволяет оценить растворимость свинца в жидких промышленных сталях. До настоящего времени еще не была измерена растворимость свинца в стали ниже температуры ее плавления. В то же время данные о растворимости свинца в жидком и твердом металле не могут правильно понять поведение свинца при охлаждении и кристаллизации жидкой стали и окажутся полезными при изучении формы его существования в твердой стали.

Диссертационная работа посвящена изучению растворимости свинца в жидком железе и его жидких бинарных расплавах, а также растворимости и диффузионной способности свинца в твердом железе.



## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Атомный диаметр свинца на 24-27% больше, чем железа. Это обстоятельство сильно ограничивает пределы взаимной растворимости железа и свинца при температурах твердого железа и является причиной несмешиваемости их в жидком состоянии. Термографические исследования, проведенные в начале XX века, не позволили установить наличия растворов в этой системе. При охлаждении расплавов железа и свинца с  $1600^{\circ}\text{C}$  были зафиксированы только две температурные остановки, соответствующие температурам плавления свинца ( $327 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) и железа ( $1527 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).

До настоящего времени еще не предпринималось попыток прямого определения растворимости свинца в твердом железе.

В конце 50-х и начала 60-х годов были опубликованы данные нескольких исследований, посвященных измерению равновесных содержаний свинца в жидком железе. Согласно Миллеру и Балиоту при температуре  $1550^{\circ}\text{C}$  в железе растворяется 0,5-0,6% свинца. По данным Нормана и Парли растворимость свинца составляет 0,2-0,3%, а японского исследователя Араки - 0,15%. Поскольку количественно даже эти авторы сильно различаются между собой, в первую очередь было необходимо уточнить величину растворимости свинца в жидком железе.

Миллер и Балиот установили увеличение растворимости свинца в железо-никелевом расплаве с ростом содержания в нем никеля. Асада Тиэки с сотрудниками измерили равновесные содержания свинца в хромистых и углеродистых сталях и показали, что хром и углерод уменьшают растворимость свинца в железе. Сугияма Таро и Инагани Сэмпи теоретически оценили значения параметров взаимодействия свинца с различными элементами. Однако значения параметров взаимодействия свинца с углеродом, хромом и

никелем, определенные экспериментально по его растворимости и рассчитанные теоретически, не согласовываются между собой.

Не было установлено влияние серы, фосфора, алюминия и других легирующих элементов стали на растворимость в ней свинца, что требовало постановки дополнительных исследований.

Высокая утругость паров свинца при температурах сталеплавильных процессов и его токсичность создают дополнительные трудности при изучении систем с его участием. Анализ литературных данных показал неприменимость для целей исследования использовавшихся ранее экспериментальных методов. Это вызвало необходимость отработки более надежной методики для измерения растворимости свинца в железе и его сплавах.

## ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СВИНЦА В ЖИДКОМ ЖЕЛЕЗЕ И ЖИДКИХ БИНАРНЫХ СПЛАВАХ НА ЕГО ОСНОВЕ

### 1. Методика исследования

При изучении растворимости свинца в жидких металлах использовали два метода исследования: паровой и контактный.

#### а) Паровой метод

Насыщение металла парами свинца осуществляли в кварцевых ампулах. Для сохранения формы ампул, размягчающихся при температуре опыта, давление внутри них с помощью аргона поддерживали близким к атмосферному. Исследуемый металл и свинец изолировали друг от друга. Навеска металла составляла 20-30г, а свинца — 1 г. Пять — шесть ампул закладывали в графитовый тигель, который помещали в изотермическую зону печи Таммана, разогретой до температуры опыта. Предварительные опыты показали, что насыщение расплава парами свинца достигается уже



после получасовой выдержки и свинец распределяется по высоте и сечению образца равномерно. Для надежности, в дальнейшем, время насыщения было принято равным одному часу. По истечении времени опыта графитовый тигель с ампулами обрасывали в воду. Образцы металла, извлеченные из ампул, после очистки их поверхности переводили в стружку и анализировали ее на содержание свинца полярографическим методом. Температуру печи измеряли платинородиевой термопарой ПР 6/30, отградуированной по стандартной термопаре Pt - Pt + 10% Rh до 1500°C. Полученная градуировочная кривая экстраполировалась до более высоких температур. Точность показаний рабочей термопары проверяли по температуре плавления никеля высокой чистоты (99,999%); расхождение между показанием термопары и температурой плавления никеля не превышало  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Температуру печи регулировали с помощью автотрансформатора АОСК 25-05; ее колебания в процессе опыта не превышали  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Опыты паровым методом проводили только при 1550°C, т.к. кварц недостаточно прочен при более высоких температурах.

#### б) Контактный метод

В этом случае изучаемый расплав и свинец выдерживали в контакте друг с другом в тигле под слоем синтетического шлака. Тигель со 100-150 г железа с теми или иными легирующими добавками помещали в алундовую пробирку, сверху в холодной ее части плотно прикрываемую резиновой пробкой. Плавки проводили в токе аргона, содержащего 4-5% водорода, осушенного силикагелем. В тигель с расплавленным металлом обрасывали 5-10 граммов свинца и 4-5 граммов синтетического шлака. По истечении одного часа кварцевой пипеткой диаметром 4-5 мм отбирали пробы металла, которые закаливали в воде. Разделку проб и анализ металла на содержание свинца производили таким же образом, как и



при паровом методе. Исследования также проводили в печи сопротивления с графитовым нагревателем. Температуры 1550-1650<sup>0</sup>С мерили платинородиевой термопарой ПР 6/30, а более высокие (1700-1750<sup>0</sup>С) - вольфрамрениевой термопарой WR 5/20.

## 2. Уточнение растворимости свинца в жидком железе

Насыщение жидкого железа парами свинца, вследствие высокой упругости пара последнего (244 мм. рт.ст. при 1550<sup>0</sup>С), происходит быстрее, чем насыщение свинца парами железа (0,02 мм рт.ст. при 1550<sup>0</sup>С). Поэтому в первое время в системе устанавливается равновесие между чистым свинцом и его раствором в жидком железе. Содержание свинца в железе, находящемся в непосредственном контакте со свинцом, будет, строго говоря, более низким, чем получаемое паровым методом, поскольку при растворении железа в жидком свинце активность последнего понижается. Однако растворимость железа в жидком свинце не велика и по данным Миллера и Эллиота составляет всего 0,22% (вес.). Поэтому расхождение между результатами, полученными паровым и контактными методами, будет невелико и в нашем случае анализом не выявлялось. Растворимость свинца в жидком железе при температуре 1550<sup>0</sup>С в обоих случаях равнялась 0,30% (вес.).

При температурах 1600<sup>0</sup>, 1650<sup>0</sup>, 1700<sup>0</sup> и 1750<sup>0</sup>С опыты вели только контактными методами. Поверхность железа при 1550<sup>0</sup>С покрывали слоем оконного стекла, а при более высоких температурах пользовались известково-глиноземистым шлаком (50% СаО + 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Эти опыты проводили с Армко-железом и свинцом марки ЧДА. Полученные нами результаты могут быть представлены формулой

$$G_{\text{Pb}} [\text{Pb, \%}] = - \frac{11100}{T} + 5,57$$

Изменение энтальпии при растворении жидкого свинца, рассчитанное из этой формулы как для бесконечно разбавленного раствора, равняется  $50800 \pm 7000$  кал/моль.

Равенство содержаний свинца в железе, полученное обоими методами при температуре  $1550^{\circ}\text{C}$ , свидетельствует о невозможности образования грубодисперсной эмульсии свинца в расплаве при непосредственном контакте обоих металлов. С привлечением литературных данных обсуждена также возможность образования лиофильной (термодинамически устойчивой) эмульсии свинца в жидком железе. Показано, что такая эмульсия не может образоваться и весь свинец в жидком железе находится в виде истинного раствора.

### 3. Определение растворимости свинца в бинарных сплавах железа при температуре $1550^{\circ}\text{C}$

Определялась растворимость свинца в бинарных сплавах железа с хромом (до 17%), медью (до 15,2%), фосфором (до 1%), вольфрамом (до 5,2%), молибденом (до 5%), оловом (до 15,1%), серой (до 0,55%), никелем (до 15,5%), кобальтом (до 20%), марганцем (до 5,5%), алюминием (до 15,1%), кремнием (до 15,1%), углеродом (до 5,3%) при температуре  $1550^{\circ}\text{C}$ .

Большинство элементов, перечисленных выше, незначительно растворимы в свинце, поэтому, как было показано ранее, паровой и контактный методы при исследовании сплавов железа с этими элементами должны приводить к одинаковым результатам. Растворимость свинца в этих случаях, а также в сплавах железа с серой и фосфором, определяли паровым методом. Сплавы железа с элементами (никелем, оловом, медью и алюминием), образующими широкие области растворов со свинцом при исследуемой температуре, также изучали паровым методом, а при их



максимальном содержании в железе - обоими методами. Оба метода привели к одинаковым результатам.

При изучении сплавов железа с алюминием и кремнием, содержащих более 5% кремния, исследуемый металл закладывали в тигель из чистой окиси алюминия и затем запаивали в кварцевые ампулы. Влияние углерода на растворимость свинца в железе исследовали контактным методом, т.к. окись углерода, образующаяся при взаимодействии углерода с кварцем или окисью алюминия, разрывает кварцевые ампулы и не позволяет изучать железо-углеродистые расплавы паровым методом. Плавки в этом случае проводили в тиглях из окиси алюминия или графита (для сплавов, насыщенных углеродом). В этих опытах применялось железо восстановленное, очищенное в токе водорода от углерода и кислорода. Содержание примесей в легирующих элементах, использованных в наших исследованиях, не превышало 0,1%. Содержание свинца в бинарных сплавах железа определяли также полиграфическим методом. По полученным в исследовании данным рассчитали коэффициенты активности

$$f_{Pb}^{(j)} = \frac{[Pb, \%]_{Fe}}{[Pb, \%]_{Fe-j}}$$

и параметры взаимодействия свинца в расплавах железа с элементом j

$$e_{Pb}^{(j)} = \frac{\partial \log(f_{Pb}^{(j)})}{\partial (j, \%)}$$

Результаты расчета представлены в таблице. Параметры взаимодействия, полученные нами и другими исследователями по опытными значениям растворимости, хорошо согласуются между собой. Теоретический же метод расчета параметров взаимодействия, использованный Сугияма Таро и Инагани Скити, приводит к резуль-

татам, плохо согласующимся с нашими данными. Используя значения

Значения параметров взаимодействия  $e_{Pb}^{(j)}$  и  
энергий смешения  $Q_{Pb-j}$  свинца с различными  
элементами

Таблица

Элемент j	$e_{Pb}^{(j)}$	$Q_{Pb-j}$ , кал/моль
P	0,048	31100
S	-0,32	-99100
C	0,068	24400
Mn	-0,023	9300
Ni	-0,019	10000
Cr	0,020	41700
Cu	-0,028	6600
Si	0,048	11000 (при 3% Si)
Co	0,000	25800
Zn	0,057	123000
W	0,000	25800
Mo	0,000	25800
Al	0,021	26400

параметров взаимодействия можно рассчитать равновесные содержания свинца в низколегированных сталях по формуле

$$\lg [Pb, \%] = -0,523 - \sum e_{Pb}^{(j)} \cdot (j, \%)$$

Нами рассчитаны также энергии смешения свинца с различными элементами (табл. ) по формуле теории регулярных растворов, выведенной В.А.Кожеуровым. Энергии смешения свинца с большинством из исследованных нами элементов остаются постоянными в изученной области составов. Значения энергий смешения  $Q_{Pb-C}$  и  $Q_{Pb-Al}$  незначительно увеличиваются, а  $Q_{Pb-Mn}$  слабо



уменьшается с ростом содержания в железе элемента - добавки, Энергия смешения свинца с кремнием сильно возрастает с увеличением содержания кремния в бинарном сплаве железа.

Следует заметить, что по формуле теории регулярных растворов невозможно рассчитывать растворимость свинца в сталях, т.к. отсутствуют необходимые для расчета значения многих энергий смешения. Используя энергии смешения элементов со свинцом, рассчитанные нами, железом и углеродом, определенные В.П. Вурьялевым, можно рассчитать предельные содержания свинца в некоторых тройных сплавах на основе железа.

#### 4. Измерение равновесных содержаний свинца в железе, насыщенном графитом

---

Опыты проводили контактным методом в графитовых тиглях. Температурная зависимость растворимости свинца в сплавах Fe-C<sub>нас</sub> представлена уравнением

$$\lg [Pb, \%) = - \frac{4500}{T} + 1,52,$$

а зависимость параметра взаимодействия  $e_{Pb}^{(c)}$ , рассчитанного по опытным данным, от температуры - формулой

$$e_{Pb}^{(c)} = 3,3 \cdot 10^{-4} t^{\circ}C - 0,434$$

### РАСТВОРИМОСТЬ И ДИФФУЗИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СВИНЦА В ТВЕРДОМ ЖЕЛЕЗЕ

#### I. Определение растворимости свинца в твердом железе

---

Растворимость свинца в твердом железе в области температур 850-1450°С определяли паровым методом. Опыты при 1350-1450°С проводили в печи с Г-образными нагревателями из дисилицида мо-

либдена. Заданная температура поддерживалась автоматически с помощью электронного потенциометра ЭИД-107С с точностью  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ . При более низких температурах (850-1200 $^{\circ}\text{C}$ ) опыты вели в трубчатой печи с никромовым нагревателем. Температуру измеряли термомпарами: Pt + 6% Rh - Pt + 30% Rh при 1350 и 1450 $^{\circ}\text{C}$  и Pt - Pt + 10% Rh при 850-1200 $^{\circ}\text{C}$ . Для насыщения применяли пластинки Армико-железа толщиной от 0,1 до 0,01 см, в зависимости от температуры опыта. Для предотвращения спекания пластины изолировали друг от друга кварцевыми прокладками. Ампулы помещали в изотермическую зону печи и выдерживали в токе водорода до достижения в железе равновесных концентраций свинца. Закалку насыщенных образцов производили в масле. Поверхность железных пластин, извлеченных из ампул, была покрыта свинцом, который мог вносить значительную ошибку в конечный результат. Удаление свинца с поверхности образцов осуществляли в жидком олове, нагретом до температуры 300 $^{\circ}\text{C}$ . Содержание свинца в железе определяли колориметрическим методом с применением дитизона. Средние значения растворимости свинца и размер зерен железа в пластинах приводятся ниже

Температура, $^{\circ}\text{C}$	1450	1350	1200	1050	850
Pb, %	0,020	0,0064	0,0057	0,0042	0,0010
Диаметр зерна железа, мм	0,25-0,35	0,15-0,18	0,10 - 0,15	0,10	0,10

Как видно, растворимость свинца в твердом железе незначительна.

Примеси, как известно, могут располагаться в решетке металла - растворителя и по ее дефектным местам: границам зерен, дислокациям и вакансиям. При достаточно малых равновесных содержаниях элемента его растворимость по границам зерен и другим дефектам решетки растворителя может вносить существенный вклад в суммарную растворимость. Суммарная раствори-



мость свинца в твердом железе составляет всего тысячные - десятитысячные доли атомного процента, однако оценить теоретически или определить экспериментальным путем каново распределение свинца между решеткой железа и ее дефектами в настоящее время не представляется возможным.

## 2. Изучение диффузии свинца в твердом железе

Были измерены коэффициенты диффузии свинца в твердом железе при температурах  $1050^{\circ}$  и  $1450^{\circ}\text{C}$ .

Диффузия свинца при  $1450^{\circ}\text{C}$  изучалась на цилиндрических образцах Армо-железа (диаметры 10 и 15 мм и длиной 60 мм), находившихся различное время в парах свинца. В образцах диаметром 10 мм после насыщения определяли среднюю концентрацию свинца, а в образцах диаметром 15 мм - ее радиальное распределение по сечению образца. Используя известные формулы для диффузии вещества в бесконечном цилиндре, по данным о средней концентрации и времени насыщения рассчитали коэффициент диффузии свинца, а используя его значение - распределение концентрации свинца по сечению образцов диаметром 15 мм. Коэффициент диффузии свинца не зависел от времени насыщения и установлен равен  $2,46 \pm 0,6 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$ . Хорошее согласование расчетных и опытных данных, характеризующих распределение концентрации свинца по сечению образцов диаметром 15 мм, свидетельствовало о диффузионном характере процесса насыщения.

В пластинах Армо-железа толщиной 0,8 мм, содержащих до опыта 0,02% свинца, определяли среднюю концентрация свинца в зависимости от времени отжига пластин в токе водорода при температуре  $1050^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент диффузии свинца, рассчитанный по формуле для диффузии вещества из бесконечной пластины, изменялся с  $8,8 \cdot 10^{-10}$  до  $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{сек}$ . в зависимости от вре-

0143402

мени опыта, что, видимо, объясняется ростом зерен железа и уменьшением скорости массопереноса свинца по их границам.

## О ФОРМЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВИНЦА В ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАЛЯХ

Используя параметры взаимодействия свинца с легирующими элементами стали и данные о его растворимости в жидком железе, расчетным путем определили равновесные содержания свинца при температуре разливки и ликвидуса сталей сортамента Волжского автозавода. Было установлено, что содержание свинца в этих сталях, полученное путем введения свинцовой дроби в струю при разливке стали по изложницам сверху меньше значений его растворимости при температуре разливки. Это позволяет считать, что свинец в жидкой стали, наполняющей изложницу, находится в растворенном состоянии, а отдельные грубые скопления металлического свинца, преимущественно в донной части слитка, вызваны не полным растворением свинцовой дроби.

В 70 случаях из 100 содержание свинца в промышленных сталях меньше или равно его предельной растворимости при температуре ликвидуса. Поэтому охлаждение стали в изложницах до температуры начала кристаллизации в большинстве случаев не сопровождается выделением свинца из раствора. Если содержание свинца в жидкой стали выше его растворимости при температуре ликвидуса, часть свинца в процессе охлаждения может выделиться из жидкого раствора, преимущественно в центральной части слитка. Выделения свинца, действительно, обнаружены на оксидных включениях, выделенных из промышленных сталей.

Распределение свинца в объеме закристаллизовавшегося слитка, независимо от его среднего содержания в стали, равномерное.

Растворимость свинца в твердой стали значительно ниже, чем в жидкой, поэтому в процессе кристаллизации в двухфазной облас-



ти происходит пересыщение маточного раствора свинцом и выделение свинца из раствора.

Компоненты стали, за исключением серы, не образуют химических соединений со свинцом. В присутствии марганца, обладающего большим, чем свинец сродством к сере, образование сульфидов свинца затрудняется. Основная часть свинца присутствует в стали в свободном состоянии в виде частиц различных размеров. Незначительное количество свинца, согласно данным настоящего исследования, присутствует в объеме твердой стали в растворенном состоянии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана более надежная методика определения растворимости свинца в железе и его жидких сплавах. В работе использовались два способа насыщения свинцом; парами свинца в запаянных кварцевых ампулах и путем непосредственного контакта несмешивающихся жидких фаз под защитным слоем синтетического шлака, препятствующего испарению свинца.

2. Определена растворимость свинца в жидком железе в интервале температур 1550–1700°C. Ее величина при 1550°C равна 0,30% (вес.) и с повышением температуры на 100° возрастает примерно вдвое. Результаты исследования представлены формулой:

$$\lg [Pb\%] = - \frac{11100}{T} + 5,57$$

3. Измерена растворимость свинца в бинарных сплавах железа с хромом (до 17%), медью (до 15,2%), фосфором (до 1%), вольфрамом (до 5,2%), молибденом (до 5%), оловом (до 15,1%), серой (до 0,55%), никелем (до 15,5%), кобальтом (до 20%), мар-

ганцем (до 5,5%), алюминием (до 16,1%), кремнием (до 15,1%), углеродом (до 5,3%) при 1550°C. Показано, что сера, марганец, никель и медь увеличивают, а фосфор, углерод, хром, кремний, олово и алюминий уменьшают растворимость свинца в железе, кобальт, вольфрам и молибден в пределах изученных концентраций не оказывают на нее влияния.

4. По данным о растворимости свинца в бинарных сплавах железа рассчитаны параметры взаимодействия и энергии смешения свинца с исследованными элементами, позволяющие оценивать его растворимость в различных сплавах на основе железа и жидких промышленных сталях.

5. Определена растворимость свинца в твердом железе, равная 0,02% при 1450°C, 0,0057% при 1200°C и 0,001% (вес.) при 850°C.

6. Исследована диффузионная способность свинца в твердом железе. Коэффициент диффузии свинца в  $\delta$  - железе при 1450°C равен  $2,46 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/сек, а в  $\gamma$  - железе при температуре 1050°C колеблется от  $1,5 \cdot 10^{-10}$  до  $8,8 \cdot 10^{-10}$  см<sup>2</sup>/сек в зависимости от размера зерен железа.

7. Показано, что в производственных условиях равновесие между жидкой сталью и свинцом, после его введения в сталь, не достигается: содержание свинца, растворившегося в стали, меньше его предельной растворимости.

8. При охлаждении и кристаллизации стали происходит выделение свинца из раствора, обусловленное уменьшением его растворимости с понижением температуры жидкой стали и незначительной величиной растворимости свинца в твердом металле. В закристаллизовавшемся слитии свинец присутствует в виде тонкодисперсных включений самостоятельной фазы и незначительное его количество растворено в объеме твердой стали.



Основные результаты исследования доложены на симпозиуме, посвященном столетию открытия Д.К.Черновым полиморфизма железа (г.Москва, 1968г.) и на международной конференции по теории и технологии железа и стали (г.Токио, 1970г.), а также опубликованы в следующих изданиях:

1. Ю.А.Агеев, А.Н.Морозов, А.Г.Пономаренко. Определение растворимости свинца в железе и его сплавах с никелем. Теория и практика металлургии (вып.10). Челябинск, Южно-Уральское книжное изд-во, 1969.
2. А.Н.Морозов, Ю.А.Агеев. Растворимость свинца в железе и его сплавах. Известия АН СССР. Металлы, 1971, №4, стр.111-114.
3. A.Morozov and J.Agejev. The Solubility of Lead in Iron and its Liquid Alloys. Proceedings of International Conference on the Science and Technology of Iron and Steel. Tokyo, 1971, Vol.I, P.459-461.

---

4Б 01313. Подписано к печати 6/X-71г. Формат бумаги 60x90 1/16. Объем 1л.п. Отпечатано на ротационной ЧПИ. Тираж 120 экз. Заказ № 385