

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ

ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ВОЛКОВ ГЕННАДИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ
СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

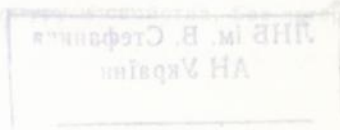
Специальность 05.02.01 - Материаловедение в машиностроении

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Харьков - 1995





00761347 (S)

2

Работа выполнена в Институте импульсных процессов
и технологий НАН Украины (г. Николаев) и
в Харьковском Государственном автомобильно-дорожном
техническом университете

Научные руководители:

доктор технических наук,
профессор, заслуженный
деятель науки и техники
Украины

С.С. Дьяченко

кандидат технических наук

В.М. Грабовый

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Т.С. Скобло

кандидат технических наук

Н.П. Жабатинский

Ведущая организация

Украинский научно-
исследовательский институт
металлов (г. Харьков)

Защита состоится "23" ноября 1995г. в "14" часов
на заседании специализированного Ученого совета
по защите диссертаций в Харьковском Государственном автомобильно-
дорожном техническом университете по адресу: 310078, Украина,
г. Харьков, ул. Петровского, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского
Государственного автомобильно-дорожного технического университета.

Автореферат разослан "23" октября 1995г.

Ученый секретарь
специализированного Ученого совета
кандидат технических наук

А.В.Космин

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Повышение качества литого металла - проблема сама по себе актуальная, т.к. позволяет снизить металлоемкость оборудования, повысить его надежность и ресурс работы. С учетом постоянного роста цен на энергоносители и материалы в металлургии возрастает доля использования вторичного сырья: металлолома, возврата собственного производства. Это, в свою очередь, ведет к снижению качества, повысить которое можно используя методы внепечной обработки расплава. В настоящее время наиболее интенсивные исследования в этой области ведутся в направлении развития методов внешнего физического воздействия на расплав. К этим методам можно отнести ультразвуковую обработку, электромагнитное перемешивание, вибрационное воздействие на кристаллизующийся металл, обработку постоянным или переменным электрическим током и др.

Несмотря на полученные положительные результаты, большинству методов внешнего физического воздействия на расплав присущ ряд недостатков. В первую очередь - это значительные удельные энергозатраты.

В последние годы в промышленности нашел применение метод внепечной электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) расплава, основанный на использовании энергии высоковольтного разряда в жидкости и передаче этой энергии в расплавленный металл. Метод выгодно отличается низкими удельными энергозатратами, простотой встраивания в существующий технологический процесс и используется для ковшевой обработки мало- и среднеуглеродистых сталей, непрерывно литых заготовок, кристаллизующихся в изложнице слитков. Исследования, проведенные в данном направлении показали, что ЭГИО способствует дегазации и рафинированию расплава, интенсифицирует процессы тепло- и массопереноса, приводит к измельчению макро- и микроструктуры и в конечном итоге улучшает качество металла.

Высокоуглеродистые сплавы на основе железа до настоящего времени ЭГИО не подвергались, хотя их доля в выпуске отливок превышает 70%. Естественно отсутствовали данные о влиянии параметров воздействия ЭГИО на структуру и свойства, без которых

невозможно разработать общие принципы выбора схемы и режимов обработки для получения требуемых служебных характеристик сплава.

В данной работе ставилась цель - на основании анализа процессов, характеризующих электрогидроимпульсную обработку жидкого металла, и оценки их влияния на первичную и вторичную кристаллизацию разработать общие подходы к управлению с помощью ЭГИО структурным состоянием и эксплуатационными свойствами высокоуглеродистых конструкционных и специальных сплавов на основе железа.

Для достижения данной цели решены следующие задачи:

- исследованы и проанализированы физические явления, развивающиеся в металле, подвергнутом ЭГИО в расплавленном состоянии;
- изучено влияние ЭГИО высокоуглеродистых сплавов на процессы, протекающие при первичной и вторичной кристаллизации;
- установлены зависимости между параметрами ЭГИО, характеристиками структуры и свойствами конструкционных и специальных высокоуглеродистых сплавов на основе железа;
- разработаны рекомендации по использованию ЭГИО для обработки высокоуглеродистых сплавов с улучшенными свойствами;
- разработан и создан лабораторный стенд для ЭГИО расплава в разливочном ковше;

Научная новизна:

- установлено, что вследствие взаимодействия ультразвуковых волн давления с микронеоднородностями расплава (кластерами, скоплениями атомов, включениями и т.п.) в обработанном ЭГИО металле повышается однородность распределения элементов (углерода, кремния, легирующих элементов, примесных атомов) и изменяется растворимость легирующих элементов в матрице. Это приводит к значительному уменьшению дендритной ликвации и изменению условий первичной и вторичной кристаллизации;
- показано, что повышение однородности расплава вызывает измельчение эвтектических колоний и графита в сером и высокопрочном чугунах. При этом интенсифицируется выделение углерода в виде первичного цементита, а содержание графита в структуре уменьшается;

- в специальных сплавах (X12, Z180C13, 250X25HT) повышение однородности распределения легирующих элементов в жидкой фазе способствует изменению их растворимости в матрице и стабилизации аустенита. Это приводит к существенному изменению фазового состава сплавов, обработанных ЭГИО, после окончания кристаллизации, и возникновению метастабильных состояний;

- влияние ЭГИО сохраняется и в процессе дальнейшей термической обработки металла и проявляется в ускорении графитизации белого чугуна и изменении механизма упрочнения специальных сплавов и их эксплуатационных характеристик;

- установлено влияние ЭГИО на особенности процесса дегазации, образование микропористости и концентрированной усадочной раковины. Определяющим фактором является продолжительность воздействия ЭГИО. Модифицирование, проведенное перед ЭГИО, интенсифицирует процесс дегазации.

Практическая значимость работы. В результате проведенных исследований разработано специальное оборудование для реализации электрогидроимпульсного метода внепечной обработки жидкого металла. Предложены комплексные технологические схемы ЭГИО расплава с различными видами термической обработки отливок из разных материалов, обеспечивающие улучшение качества металла (повышение плотности, снижение общего количества неметаллических включений с 0,18% до 0,02%, измельчение структуры и пр.) и повышение эксплуатационных свойств изделий.

Реализация в промышленности. Изготовлена и внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию (АО НАГЗ г.Николаев) установка для ЭГИО расплава в разливочном ковше ($m=1-3т$). Установка использована при производстве отливок насосов для мокрого эмульгирования, что обеспечило повышение износостойкости деталей в 4 раза при незначительных дополнительных удельных энергозатратах ($\sim 0,94кВтч/т$).

На защиту выносятся:

- результаты исследования физических явлений, происходящих в высокоуглеродистых сплавах, подвергнутых ЭГИО в жидком состоянии;

- данные о влиянии ЭГИО на процесс первичной и вторичной кристаллизации, особенности структурообразования при последующей термической обработке, структуру и свойства конструкционных и специальных высокоуглеродистых сплавов;

- комплексные технологические схемы ЭГИО расплава в сочетании с термической обработкой, обеспечивающие улучшение эксплуатационных свойств высокоуглеродистых сплавов;

- практическая реализация предложенных схем для производства отливок на предприятии АО НАГЗ, г. Николаев.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научно-технических конференциях и семинарах:

1. Научно-техническая конференция "Применение внешних воздействий при затвердевании слитков и отливок", г. Н. Новгород, 1990.

2. II Всесоюзная конференция " Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов ", г. Юрмала, 1990.

3. IV республиканская научно-техническая конференция "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах", г. Запорожье, 1991.

4. V научно-техническая конференция " Электрический разряд в жидкости и его применение в промышленности", г. Николаев, 1992.

5. XIV конференция по тепловой микроскопии "Структура и прочность материалов в широком диапазоне температур" и III школа-семинар "Физика и технология электромагнитных воздействий на структуру и механические свойства кристаллов", г. Воронеж, 1993.

6. VII научно-техническая конференция "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах", г. Запорожье, 1994.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 9 публикациях, получено авторское свидетельство на изобретение.

Методика исследований. В работе исследовались серые чугуны (СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30), высокопрочные чугуны (ВЧ40, ВЧ50), сплавы на основе трехкомпонентной системы Fe-Cr-C (сталь X12, Z180C13, 150X15NMFT, 200X20NT, 250X25NT), сплавы системы Fe-Ni-C (ЧН6Г6Д3Ш, ЧН9Г6Д3Ш), сплавы системы Fe-Si-C (ЧС15Д4ФЧЕ, ЧС15Д7ФЧЕ, ЧС15Д10ФЧЕ). Опытные плавки проводились в лабораторных условиях в индукционных печах ИСТ-0,06 и ИСТ-0,16. ЭГИО расплава осуществляли в 10-30кг ковшах с помощью электроразрядного генератора упругих колебаний (ЭРГУК). Параметры воздействия варьировали в пределах: запасаемая энергия в импульсе от 1,25 до 2,5кДж; частота следования импульсов от 2 до 16Гц; продолжительность обработки от 10 до 120с.

Механические свойства определяли по ГОСТ 1496-84 и по ГОСТ 9454-78. Микроструктуру сплавов исследовали на оптическом микроскопе **НЕОФОТ-32** и электронно-зондовом микроанализаторе **SUPERPROBE-733** (фирма JEOL LTD, Япония). Оценку структуры чугунов проводили в соответствии с ГОСТ 3443-87. Объем статистической выборки подбирали таким образом, чтобы при доверительной вероятности $P=0,95$ погрешность не превышала 5%.

Химическую однородность сплавов оценивали через коэффициент дендритной ликвации, который определяли как отношение концентрации элемента в межосном пространстве (C_m) к концентрации элемента в оси дендрита (C_0). В случае обратной ликвации, когда элемент обогащает не межосное пространство, а ось дендрита, пользовались обратной величиной этого коэффициента с отрицательным знаком.

Под растворимостью легирующих элементов в работе понимали способность элементов растворяться в матрице (в Fe) без образования других фаз. Количественно эту способность оценивали через безразмерный коэффициент, выраженный в условных единицах, который определяли как отношение концентрации (C_i) или интенсивности рентгеновского излучения элемента (J_i) к концентрации (C_{Fe}) или интенсивности рентгеновского излучения (J_{Fe}) железа.

Объем (V_y) концентрированной усадочной раковины в отливке определяли путем заполнения ее водой из мерной бюретки. Затем определяли массу (m) отливки и рассчитывали удельный объем (V_y') концентрированной усадочной раковины:

$$V_y' = \frac{V_y}{m}; \quad (1)$$

При сравнительном анализе проб для всех контрольных слитков удельный объем концентрированной усадочной раковины принимали за единицу (или 100%) и определяли процент изменения этого дефекта в результате ЭГИО.

Коррозионную стойкость в 40% серной кислоте определяли на образцах по потере массы. Скорость коррозии рассчитывали по

формуле:

$$K = \frac{m_0 - m_1}{F \times t}; \quad (2)$$

где: K - показатель скорости коррозии, $г/м^2 \cdot ч$; m_0 - масса образца до испытания, $г$; m_1 - масса образца после испытания, $г$; F - поверхность образца, $м^2$; t - время испытания, $ч$.

Глубинный показатель коррозии (проницаемость) вычисляли из потерь массы металла по формуле:

$$П = \frac{K_1}{\gamma} \times 10^{-3}; \quad (3)$$

где: $П$ - глубинный показатель коррозии, $мм/год$; K_1 - потеря массы, $г/м^2$ в год; γ - плотность, $г/см^3$.

Гидроабразивную стойкость определяли на образцах в специальной установке. Оценку производили по коэффициенту относительной износостойкости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta W_3}{\Delta W_0}; \quad (4)$$

где: ΔW_3 и ΔW_0 потери веса эталона и испытуемого образцов, соответственно. В качестве эталона использовали чугун марки СЧ20 ($\varepsilon=1$).

Результаты исследований.

Серый чугун. Исследование влияния ЭГИО на усадку как дефект, связанный с газосодержанием расплава, показало, что помимо продолжительности обработки определенную роль играет и состояние расплава перед ЭГИО. На рис.1 показаны расчетные кривые, полученные на основании регрессионного анализа, изменения удельного объема концентрированной усадочной раковины от продолжительности воздействия. Обработка расплава в течение 15с практически не сказывается на изменении усадки. В интервале от 15с до 30с удельный объем концентрированной усадочной раковины снижается, а дальнейшее увеличение продолжительности воздействия ведет к резкому ее увеличению. Как видно из рис.1 полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными.

Параметры ЭГИО (запасаемая энергия в импульсе - W и частота следования импульсов - f) в исследованном диапазоне практически не влияют на процесс газовыделения, а ввод модификаторов в расплав

перед ЭГИО интенсифицирует данный процесс (см.рис.1). В быстрозакристаллизованных (закаленных из жидкого состояния) образцах с ярко выраженной дендритной структурой в литом состоянии были определены коэффициенты дендритной ликвации, приведенные в таблице 1. Анализ показывает, что ЭГИО существенно влияет на распределение химических элементов в расплаве. Сильнее всего снижается ликвация углерода, затем Si и менее всего Mn (на 38%, 13% и 1,6%, соответственно).

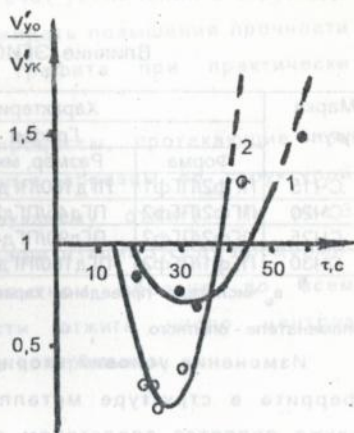


Рис.1 Влияние ЭГИО на удельный объем усадочной раковины
1- немодефицированный чугун;
2- модифицированный чугун.

Таблица 1
Влияние электрогидроимпульсной обработки на химическую однородность серого чугуна марки СЧ25

Образец	Коэффициенты дендритной ликвации		
	C	Si	Mn
Контрольный	1,71	- 1,72	1,23
Спытный	1,06	- 1,50	1,21

Экспериментально установлено (таблица 2), что для всех марок чугуна после ЭГИО (литье в песчаные формы) наблюдается измельчение графита и снижение его количества при одновременном возрастании количества первичного цементита. Форма графита не изменяется и остается пластинчатой. В чугунах СЧ20, СЧ25 и СЧ30 отмечаются также снижение количества перлита и увеличение доли ферритной составляющей. Таким образом, повышение однородности распределения элементов в жидком металле при ЭГИО оказывает влияние на условия первичной и вторичной кристаллизации и при обычных скоростях охлаждения. Равномерное распределение C и Si в расплаве после ЭГИО создает условия для формирования большего числа центров графитизации и приводит к диспергированию графита.

Наряду с этим значительная часть углерода выделяется в виде первичного цементита, что объясняет уменьшение количества графита.

Таблица 2

Влияние ЭГИО на структуру серых чугунов

Марка чугуна	Характеристика структуры ¹⁾ (ГОСТ 3443-87)				
	Графит			Матрица	
	Форма	Размер, мкм	Количество, %	Перлит, %	Феррит, %
СЧ15	ПГФ2/ПГФ1	ПГД180/ПГД90	ПГ10/ПГ6	П95/П95	Ф5/Ф5
СЧ20	ПГФ2/ПГФ2	ПГД45/ПГД25	ПГ8/ПГ6	П100/П80	Ф0/Ф20
СЧ25	ПГФ2/ПГФ2	ПГД90/ПГД45	ПГ10/ПГ6	П85/П80	Ф15/Ф20
СЧ30	ПГФ1/ПГФ2	ПГД180/ПГД90	ПГ10/ПГ6	П100/П70	Ф0/Ф30

¹⁾ в числителе приведена характеристика структуры контрольного металла, а в знаменателе - опытного

Изменение условий вторичной кристаллизации и увеличение доли феррита в структуре металлической матрицы чугунов после ЭГИО также является следствием однородного распределения химических элементов, и в частности углерода. Формирование дисперсного графита и первичного цементита связывает углерод и ведет к обеднению им аустенита. Такой аустенит при охлаждении распадается с увеличением доли малоуглеродистого феррита за счет уменьшения доли перлита.

На рис.2 показано

совместное влияние ЭГИО и скорости кристаллизации на размер графита (ПГД) и объемную долю перлита (V_n). Установлено, что с уменьшением скорости кристаллизации объемная доля перлита в матрице опытного металла уменьшается в большей степени, чем в контрольном сплаве. При этом длина графитных включений в опытном образце возрастает, и в отливках диаметром 15мм становится равной их длине в контрольном образце. Такое изменение структуры должно

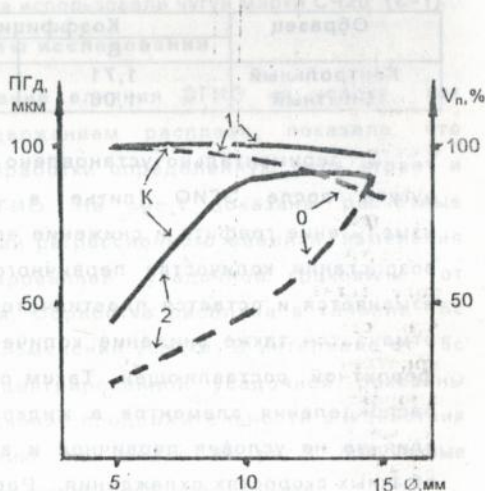


Рис.2. Влияние ЭГИО и скорости кристаллизации на структуру чугуна марки СЧ25.

К- контрольный металл; О- опытный металл;
1- изменение количества перлита;
2- изменение длины графитных включений.

отразиться на свойствах: в толстостенных отливках с ЭГИО прочность и твердость несколько снизятся за счет увеличения в структуре феррита, а в тонкостенных - следует ожидать повышения прочности за счет существенного измельчения графита при практически неменяющемся количестве перлита.

Для изучения влияния ЭГИО на процессы, протекающие при термообработке, быстрозакристаллизованные образцы со структурой белого чугуна подвергали графитизирующему отжигу. На рис.3 приведена зависимость числа центров графитизации (N) от продолжительности отжига. Видно, что в опытном образце во всем исследованном интервале длительности отжига число центров графитизации существенно больше, чем в контрольном.

Максимальное число центров графитизации формируется в опытном металле после выдержки 10 мин., а в контрольном - после выдержки 20 мин. Следовательно, ЭГИО интенсифицирует процессы графитизации при термической обработке.

Высокопрочный чугун.

Экспериментально установлено (таблица 3), что ЭГИО расплава высокопрочных чугунов приводит к измельчению графита и снижению его количества. Из таблицы видно,

что схема обработки влияет на первичную и на вторичную кристаллизацию. Для первичной кристаллизации это влияние проявляется в изменении формы графита и измельчении его включений. Наиболее значительное измельчение наблюдается при обработке по схеме "ЭГИО+ модифицирование", а ввод модификатора перед ЭГИО способствует выделению углерода в виде первичного цементита.

Соотношение количества перлита и феррита в металлической матрице опытного металла обработанного по схеме

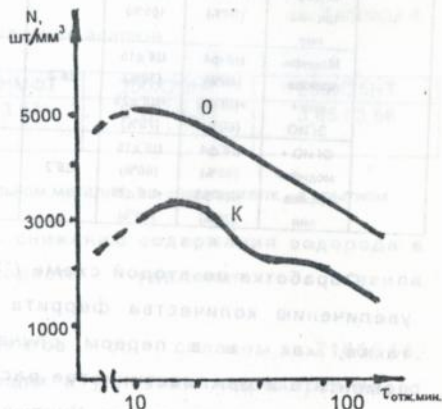


Рис.3. Зависимость числа центров графитизации (N) от продолжительности (τ) отжига
К- контрольный металл;
О- опытный металл.

"модифицирование + ЭГИО" по сравнению с контрольным металлом не изменяется. Меняется морфология цементита в перлите. Длина пластин цементита после ЭГИО уменьшается, а часть цементита имеет зернистую структуру.

Таблица 3
Влияние ЭГИО на структуру и свойства высокопрочных чугунов

Марка чугуна	Схема обработ- ки	Характеристика структуры (ГОСТ 3443-87)						Механические свойства		
		графит			матрица			σв, МПа	σ _{0,2} , МПа	НВ
		форма	размер, мкм	количе- ство, %	перлит, %	феррит, %	цементит, %			
ВЧ40	Традици- онная + модифи- цирова- ние	ШГФ4 (50%) +ШГФ5 (50%)	ШГД15 (15%) +ШГД25 (85%)	ШГ4	П80	Ф20	-	447	360	149
	Модифи- цирова- ние + ЭГИО	ШГФ4 (40%) +ШГФ5 (60%)	ШГД15 (30%) +ШГД25 (70%)	ШГ2	П80	Ф20	Ц25	490	389	164
	ЭГИО + модифи- цирова- ние	ШГФ4 (80%) +ШГФ5 (20%)	ШГД15 (60%) +ШГД25 (40%)	ШГ2	П55	Ф45	-	419	320	150

Обработка по второй схеме ("ЭГИО + модифицирование") ведет к увеличению количества феррита в структуре; морфология перлита также, как и в первом случае, изменяется. Толщина пластин цементита и межпластинчатое расстояние в перлите опытного металла значительно сокращаются. Учитывая, что при данной схеме обработки количество графита снижается, первичный цементит не выделяется, а количество малоуглеродистой фазы (феррита) увеличивается, можно сделать предположение: в результате вторичной кристаллизации формируется квазиэвтектоид с повышенным содержанием углерода.

Структурные изменения, наблюдаемые в опытном металле высокопрочного чугуна отразились на механических свойствах (см. табл. 3). В первом случае ("модифицирование + ЭГИО") прочность и твердость возросли по сравнению с контрольным образцом, а во втором ("ЭГИО + модифицирование") прочность несколько снизилась, а твердость осталась на уровне контрольного образца, что, по всей видимости, обусловлено формированием квазиэвтектоида в структуре металлической матрицы.

Сплавы системы Fe-Cr-C. Установлено, что в зависимости от температуры расплава в стали X12 под воздействием ЭГИО меняется степень растворимости легирующих и примесных элементов (Cr, Mn, Si, Ni, Cu, Al) в матричной фазе (в Fe). Определен интервал, ограниченный температурами расплава 1470°C и 1590°C, в котором растворимость Cr под воздействием ЭГИО в матричной фазе максимальна. Следовательно, в этой температурной области ЭГИО приводит к более однородному распределению Cr в расплаве, что и фиксируется в твердом состоянии после закалки.

На сплавах 150X15НМФТ, 200X20НТ и 250X25НТ изучали влияние ЭГИО на удаление водорода из расплава. Результаты газового анализа приведены в таблице 4.

Результаты газового анализа

Таблица 4.

Марка сплава	150X15НМФТ	200X20НТ	250X25НТ
Содержание водорода, ^{а)} см ³ /100 г	3,99 / 3,57	6,47 / 3,89	3,85 / 3,58

^{а)} в числителе - содержание водорода в контрольном металле, а в знаменателе - в опытном.

Видно, что ЭГИО способствует снижению содержания водорода в исследованных сплавах. Скорость удаления составила 0,0045-0,045 см³/100 г в секунду.

При проведении экспериментов со сплавом Z180C13, используемым для узлов, работающих в условиях гидроабразивного износа, в качестве шихты применяли бой деталей насосов, полученных из Франции. Их структура представляет собой мартенситную матрицу с первичными карбидами типа M_7C_3 и вторичными мелкодисперсными упрочняющими карбидами типа $M_{23}C_6$, равномерно распределенными в объеме первичного аустенитного зерна (HRC57).

Исследования показали, что ЭГИО существенно влияет на структуру переплавленного металла как в литом состоянии, так и после термообработки. В литом металле после ЭГИО возрастает доля зветкти розеточного типа (рис.4,б) и, самое главное, изменяется фазовый состав матрицы: в контрольном образце матрица ферритная, тогда как в опытном она преимущественно аустенитная (рис.5,а).

После термообработки, которая заключалась в отжиге при 900°C и последующей нормализации при 1100°C (стандартная обработка для сплавов данного типа) в контрольном образце структура представляет собой мартенситную матрицу и участки эвтектики (рис. 4, в). В опытном же образце (рис. 4, г) в мартенситной матрице произошло дисперсионное твердение с выделением вторичных мелкодисперсных карбидов типа $M_{23}C_6$. Структура, полученная после термообработки металла, подвергнутого ЭГИО, подобна исходной (до переплава). По-видимому, повышение растворимости легирующих элементов в расплаве и равномерность их распределения приводят к формированию более легированного аустенита при кристаллизации, что и вызывает его стабилизацию. В процессе последующей термообработки внутри аустенитных зерен наблюдается выделение вторичных карбидов, обеднение, вследствие этого, аустенита легирующими элементами и превращение его при охлаждении в мартенсит с дополнительным упрочнением дисперсными вторичными карбидами.

Аналогичные изменения при ЭГИО наблюдаются в сплаве 250X25HT: в литом состоянии в контрольном образце матрица сплава ферритная, в опытном - аустенитная с очень небольшим количеством α -фазы (рис. 5, б). После термообработки в опытном образце протекает дисперсионное твердение. Таким образом, ЭГИО может изменить механизм упрочнения при термической обработке, что, вызывая незначительные отличия в значениях твердости по сравнению с контрольным образцом, может оказать определяющее влияние на эксплуатационные свойства.

Влияние ЭГИО на износостойкость изучали при проведении промышленных испытаний в условиях АО Николаевский акционерный глиноземный завод на партии деталей насосов мокрого эмульгирования, изготовленных из сплава марки 250X25HT по схеме "ЭГИО расплава + термообработка отливок". Испытания показали, что износостойкость возросла более, чем в 4 раза, что связано с формированием метастабильной структуры в литом состоянии и с дисперсионным упрочнением после термической обработки.

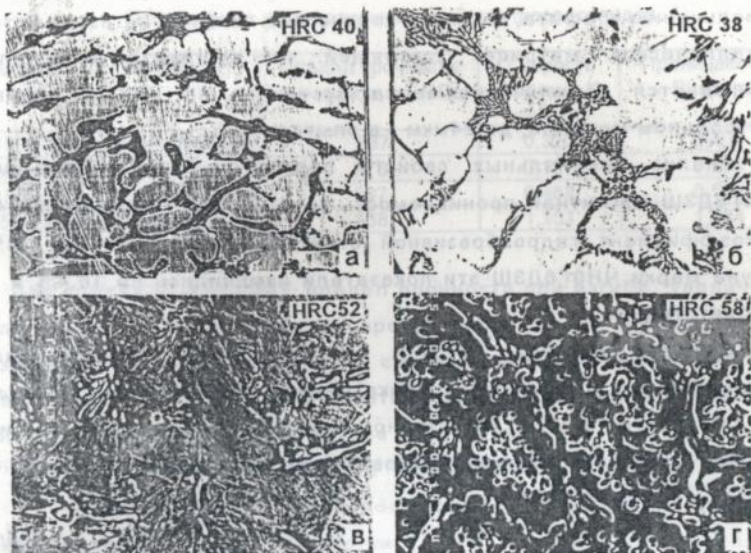


Рис. 4 Микроструктура сплава Z180C13;
а, б - литое состояние (x400); в, г - термообработанное состояние (x1000)

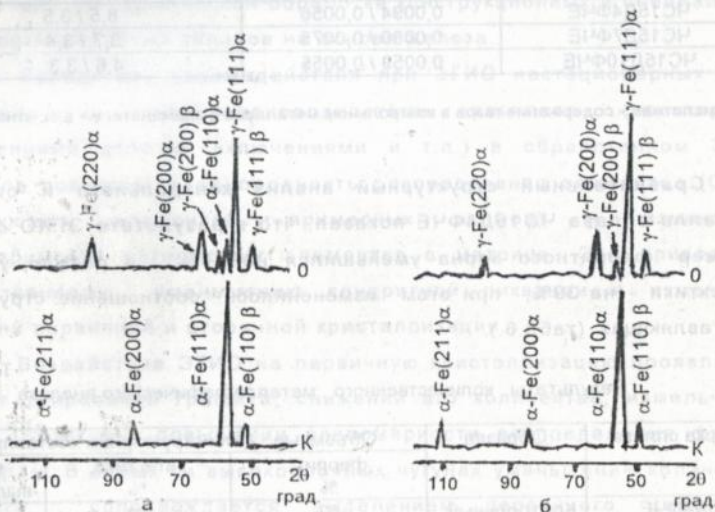


Рис. 5. Рентгенограммы исследованных сплавов; а-сплав Z180C13; б-сплав 250X25HT;
К- контрольный металл, О- опытный металл

Сплавы системы Fe-Ni-C. Установлено, что ЭГИО способствует измельчению графита, форма и количество графита не изменяются. В металлической матрице, состоящей из аустенита и карбидов, наблюдается измельчение зерна аустенита на 30% (с 36мкм в контрольном металле, до 24мкм - в опытном).

Анализ специальных свойств показал, что в чугуне марки ЧН6Г6Д3Ш магнитная проницаемость ($\mu \cdot 10^{-6}$ Гн/м) снизилась на 4,4%, а коэффициент гидроабразивной стойкости увеличился на 16%. В чугуне марки ЧН9Г6Д3Ш эти показатели изменились на 10,4% и 15%, соответственно.

Сплавы системы Fe-Si-C. Результаты газового анализа, приведенные в таблице 5, показывают, что для металла, подвергнутого ЭГИО, характерно снижение содержания O_2 и H_2 , причем скорость удаления газов может быть весьма высокой - до $0,042 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в секунду.

Таблица 5
Результаты газового анализа ферросилидов

Марка сплава	Содержание газов ^{*)}	
	O_2 , %	H_2 , $\text{см}^3/100\text{г}$
ЧС15Д4ФЧЕ	0,0094 / 0,0056	8,5 / 3,5
ЧС15Д7ФЧЕ	0,0080 / 0,0075	3,7 / 3,4
ЧС15Д10ФЧЕ	0,0059 / 0,0055	4,6 / 3,3

^{*)} в числителе - содержание газов в контрольном металле, а в знаменателе - в опытном.

Сравнительный структурный анализ контрольного и опытного металла сплава ЧС15Д4ФЧЕ показал, что в результате ЭГИО средний размер ферритного зерна уменьшился на 40%, а размер участков эвтектики - на 39%, при этом изменилось соотношение структурных составляющих (табл. 6).

Таблица 6
Результаты количественного металлографического анализа

Марка сплава	Образец	Объемные доли структурных составляющих		
		феррит, %	эвтектика, %	медные выделения, %
ЧС15Д4ФЧЕ	Контрольный	63	29	8
	Опытный	68,8	24,9	6,3

Такие структурные изменения сказались на прочностных и служебных свойствах ферросилидов (табл.7).

Таблица 7
Прочностные и коррозионные свойства ферросилидов

Марка сплава	Образец	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{\text{и}}$, МПа	Скорость коррозии, К, г/м ² ·час	Проницаемость П, мм/год
ЧС15Д10ФЧЕ	Контрольный	537	0,320	0,406
ЧС15Д4ФЧЕ	Опытный	678	0,137	0,174
ЧС15Д7ФЧЕ	Опытный	687	0,468	0,594
ЧС15Д10ФЧЕ	Опытный	838	1,151	1,334

Для сплава ЧС15Д4ФЧЕ предел прочности при изгибе увеличился после ЭГИО в 1,26 раза, скорость коррозии и проницаемость снизились в 2,3 раза. Увеличение содержания Си в сплаве свыше 4% нецелесообразно, т.к. наблюдается резкое снижение служебных свойств, хотя прочность при изгибе возрастает.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненными исследованиями установлено влияние электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) на дегазацию расплава, содержание неметаллических включений, усадочные явления, условия первичной и вторичной кристаллизации и превращения при окончательной термической обработке конструкционных и специальных высокоуглеродистых сплавов на основе железа.

2. Вследствие взаимодействия при ЭГИО нестационарных волн давления с микронеоднородностями расплава (кластерами, скоплениями атомов, включениями и т.п.) в обработанном ЭГИО металле повышается однородность распределения элементов (С, Si, легирующих элементов, примесных атомов) и изменяется растворимость легирующих элементов в матрице. Это приводит к существенному уменьшению дендритной ликвации и изменению условий первичной и вторичной кристаллизации.

3. Воздействие ЭГИО на первичную кристаллизацию проявляется в диспергировании графита, снижении его количества, измельчении литой структуры, повышении равномерности распределения фаз по размерам. В серых и высокопрочных чугунах уменьшение количества графита сопровождается выделением первичного цементита. Специальные (высокохромистые) сплавы, вследствие изменения

растворимости легирующих элементов в матрице, могут кристаллизоваться с образованием метастабильных состояний, в частности, с сохранением аустенитной структуры после охлаждения.

4. При вторичной кристаллизации влияние ЭГИО на структуру конструкционных чугунов сказывается в снижении количества перлита в процессе $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, что объясняется обеднением аустенита углеродом вследствие выделения из жидкого раствора первичного цементита. Уменьшение количества перлита в большей мере проявляется при снижении скорости кристаллизации. В модифицированном чугуне можно избежать эффекта снижения количества перлита, применяя схему "модифицирование+ЭГИО", что благоприятно сказывается на свойствах.

5. Воздействие ЭГИО сохраняется и в процессах структурообразования при последующей термической обработке. Для белого чугуна это проявляется в ускорении процесса графитизирующего отжига. В специальных высокохромистых сплавах термообработка приводит к дисперсионному твердению с выделением карбидных фаз в пределах исходного аустенитного зерна, вследствие чего меняется механизм упрочнения.

6. ЭГИО влияет на особенности процесса дегазации сплавов и в зависимости от продолжительности воздействия может приводить либо к увеличению микропористости, либо к образованию концентрированной усадочной раковины. Изменение энергетических параметров в исследованном диапазоне не значительно влияет на дегазацию. Модифицирование, проведенное перед ЭГИО, интенсифицирует процесс дегазации.

7. Структурные изменения в сплавах после ЭГИО отражаются на их свойствах. Выбирая схему воздействия ЭГИО (до или после модифицирования) и ее параметры, можно управлять служебными характеристиками материалов. При этом в большей мере изменяются специальные свойства: износостойкость в условиях гидроабразивного износа возрастает более, чем в 4 раза (сплав 250X25HT); в немагнитных сплавах (ЧН6Г6Д3Ш, ЧН9Г6Д3Ш) магнитная проницаемость снижается на 4-10% и на 15-16% возрастает гидроабразивная стойкость; в коррозионностойких сплавах (ЧС15Д4ФЧЕ) стойкость в 40% серной кислоте повышается более, чем в 2 раза.

8. На основании выполненных исследований разработана и апробирована в промышленных условиях комплексная схема воздействия ("ЭГИО + термообработка") при изготовлении деталей насосов мокрого эмульгирования из специальных высокохромистых сплавов, что позволило повысить их стойкость в условиях гидроабразивного износа в 4 раза. Установка для ЭГИО расплава в разливочном ковше (масса обрабатываемого металла 1-3т) внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию на предприятии АО Николаевский акционерный глиноземный завод.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Волков Г.В., Микроструктура сплавов системы Fe-Cr-C после электрогидроимпульсной обработки расплава// Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий. Вып.2.- Киев: Наук.думка, 1995. - С.87-90.

2. Волков Г.В., Грабовый В.М., Ивахненко Е.И., Осаул А.И. Электрогидроимпульсная обработка модифицированного ферросицида// "Применение внешних воздействий при затвердевании слитков и отливок" / Тез. докл. научно-техн. конф. - Н.Новгород, 1990. - С.19.

3. Волков Г.В., Грабовый В.М., Пархоменко В.А., Осаул А.И. Макроструктура износостойкого хромистого чугуна, обработанного электрогидроимпульсным методом// "Применение внешних воздействий при затвердевании слитков и отливок" / Тез. докл. научно-техн. конф. - Н.Новгород, 1990. - С.20.

4. Волков Г.В., Осаул А.И., Пархоменко В.А., Гостева И.А. Изменение микроструктуры износостойкого чугуна, подвергнутого электровзрывной обработке в расплавленном состоянии// "Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов"/ Тез. докл. II Всесоюзной конф. - Юрмала, 1990 - С.55.

5. Волков Г.В., Грабовый В.М., Пархоменко В.А., Ивахненко Е.И. Электрогидроимпульсная дегазация высокоуглеродистых сплавов// "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах" / Тез. докл. IV республиканской н.-т. конф. - Запорожье, 1991. - С.144.

6. Волков Г.В., Грабовый В.М. Исследование структурных изменений в сплавах, подвергнутых электрогидроимпульсной обработке// "Электрический разряд в жидкости и его применение в промышленности" / Тез. докл. V н.-т. конф. - Николаев, 1992. - С.133.

7. Волков Г.В. Влияние электрогидроимпульсной обработки на микроструктуру и служебные свойства высокохромистых сплавов// Тез.докл XIV конф. по тепловой микроскопии "Структура и прочность материалов в широком диапазоне температур" и III школы-семинара "Физика и технология электромагнитных воздействий на структуру и механические свойства кристаллов". - Воронеж, 1992. - С.98.

8. Грабовый В.М., Волков Г.В., Пархоменко В.А. Дегазация спецсплавов методом электрогидроимпульсной обработки// "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах" /Тез.докл. VII н.-т.конф. - Запорожье, 1994. - С.35.

9. Волков Г.В., Грабовый В.М., Пархоменко В.А. Влияние электрогидроимпульсной обработки расплава на объемную усадку серого чугуна// "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах" /Тез.докл. VII н.-т.конф. - Запорожье, 1994. - С.109.

По теме диссертации получено авторское свидетельство - А.с. №1608974.



АНОТАЦІЯ

Волков Г.В. Використання електрогідроімпульсної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей високовуглецевих сплавів на основі заліза.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.02.01 "Матеріалознавство в машинобудуванні", Харківський Державний автомобільно-дорожній технічний університет, 1995. Підлягають захисту 9 наукових робіт і один винахід, в яких подано результати досліджень впливу електрогідроімпульсної обробки (ЕГІО) расплаву на вміст газу, процеси первинної і вторинної кристалізації, структуру і властивості конструкційних і спеціальних сплавів. Встановлено технологічні параметри ЕГІО, які забезпечують підвищення експлуатаційних властивостей литва. Розроблено комплексну технологію ЕГІО расплаву і термічну обробку виливків, що дозволяє більш, ніж у 4 рази підвищити стійкість проти спрацювання в умовах гідроабразивного зносу. Здійснено промислове впровадження.

Ключові слова: електрогідроімпульсна обробка, високовуглецеві сплави, мікроструктура, механічні і службові властивості.

A B S T R A C T

VOLKOV G.V. USE OF THE ELEKTROHYDRAULIC PULSE TREATMENT FOR IMPROVING SERVICE PROPERTIES OF IRON-BASE HIGH-CARBON ALLOYS

A dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the speciality 05.02.01 "Materials Science in Machine Building" is presented (Kharkov State Motor-Car and Road Technical University, 1995).

Nine scientific works and one invention are being defended in which the results are shown of investigations of the influence of the electrohydraulic pulse treatment (EHPT) of melts upon gas content, primary and secondary crystallization, structure and properties of structural and special alloys. Technological parameters of the EHPT have been determined which ensure an improvement of service properties of cast products. A complex technology has been developed combining the EHPT of melts and heat treating of castings and allowing the wear resistance to be increased more than 4 times under the conditions of hydroabrasive wear. The technology has been put into industrial practice.

Ав 33.187

446261

18 33 253

AB 33.253

Содержание за август
Иван А. Т.
Содержание и печать 12. 10. 57 г.
Тираж 100 экз., формат 64 1/16
дск 40/57

18 33 253