

В. М. Грабовый, Ю. Н. Дегтев

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Предложена классификация и описаны известные методы электрогидроимпульсной обработки металлов и сплавов. Такой подход позволяет оптимизировать выбор метода обработки и места нагружения жидкого и кристаллизующегося металла. Классификация технологического оборудования, используемого для электрогидроимпульсной обработки расплава, разграничивает области практического использования электрогидроимпульсной обработки при решении некоторых проблем металлургии и литейного производства.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная обработка, жидкий и кристаллизующийся металл, расплав.

Запропоновано класифікацію і описано відомі методи електрогідроімпульсної обробки металів і сплавів. Такий підхід дозволяє оптимізувати вибір методу обробки і місця навантаження рідкого металу та того, що кристалізується. Класифікація технологічного устаткування, що використовується для електрогідроімпульсної обробки розплаву, розмежує області практичного використання електрогідроімпульсної обробки при рішенні деяких проблем металургії та ливарного виробництва.

Ключові слова: електрогідроімпульсна обробка, рідкий метал, що кристалізується, розплав.

Classification is offered and the known methods of the elektrohydropulse treatment of metals and alloys are described. Such approach allows to optimize the choice of the method of treatment and place of loading of liquid and crystallized metal. Classification of the technological equipment used for elektrohydropulse treatment of melts differentiates the fields of the practical use elektrohydropulse treatment to solve of some problems of metallurgy and casting production.

Keywords: elektrohydropulse treatment, liquid and crystallized metal, melts.

Введение

Ключевой проблемой повышения качества в литейном производстве являются контроль и поддержка в заданных пределах характеристик и параметров технологических процессов литья. При этом на всех стадиях технологического передела в триаде “шихта–расплав–отливка” используется широкий спектр технологических процессов, операций, методов, в основу которых положены разные по своей природе физические процессы. Сегодня ряд проблем повышения качества отливок может быть решен путем использования технологии электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) металлов и сплавов [1-3]. Такой процесс отличается многофакторностью, многовариантностью и взаимообусловленностью его составляющих или подпроцессов, что затрудняет выбор рационального варианта. Отметим, что практика показала бесперспективность механического переноса технологического оборудования, энергетической части или параметров обработки используемых, например, для Fe-C сплавов, на Al-Si сплавы.

Выделение нерешенной части проблемы. Ударно-волновое воздействие при ЭГИО – это эффективный способ создания благоприятных состояний исходного вещества и, как результат, получение новых свойств материалов в изделии. В ранее выполненных публикациях технологическое оборудование для ЭГИО рассматривалось целенаправленно к конкретному технологическому процессу, например, к

магнитногидродинамической обработке [4], или обобщенно, применительно, например, к режимам обработки определенных металлов и сплавов [5, 6]. Вместе с тем, классификация и описание методов ЭГИО и технологического оборудования, используемого для обработки, в первую очередь, позволяет пользователю оптимизировать выбор рационального технологического приема. Учитывая, что результаты электрогидроимпульсного ударно-волнового нагружения материалов весьма многообразны, такой подход разграничит области практического применения ЭГИО при решении некоторых проблем металлургии и литейного производства. Целью работы является классификация и описание методов ЭГИО, а также используемого для обработки технологического оборудования.

Результаты аналитических исследований. Анализ фонда изобретений ИИПТ НАН Украины позволяет классифицировать многообразие технологических приемов ЭГИО (по принципу их использования) тремя методами:

- метод ЭГИО расплава (**А**);
- ЭГИО кристаллизующегося слитка при порционной разливке (**Б**);
- ЭГИО кристаллизующегося слитка при непрерывной разливке (**В**).

В соответствии с разработанной классификацией можно выделить общие признаки вышеуказанных методов:

– импульсное воздействие на объект обработки, которое повторяется дискретно, путем трансформации электрической энергии в механическую при высоковольтном пробое между электродами и воздействие импульса силы, передаваемого ударной волной и гидротоком в объект обработки;

– распределение энергии в объекте обработки по временному масштабу за время обработки;

– распределение энергии в объекте обработки по геометрическому масштабу.

Следует различать частные признаки методов ЭГИО по способу нагружения и по зоне воздействия. В первом случае – это глубинное нагружение объекта обработки (**А, Б**), поверхностное нагружение объекта обработки (**А, Б, В**). Во втором случае – это ЭГИО в одной локальной зоне объекта обработки (**А, Б**); ЭГИО в нескольких локальных зонах обработки (**А, Б, В**); ЭГИО в пересекающихся зонах обработки (**А, Б, В**); ЭГИО в активированной добавками зоне обработки (**А, Б, В**).

В обозначенных выше трех методах ЭГИО можно выделить множество вариантов использования. Например, по методу **А** ЭГИО расплава может осуществляться в печи, миксере, промежуточном ковше, разливочном ковше, на желобе или в литниковой чаше, а также непосредственно в форме и др. По методу **Б** – обработка кристаллизующегося слитка в горизонтальной и (или) вертикальной плоскостях, под углом к ним, используя синхронное введение импульсов давления навстречу друг другу или асинхронное введение импульсов давления через тело изложницы или кокиля, введение импульсов давления через прибыль или непосредственно в прибыль и др. По методу **В** – обработка непрерывнолитого слитка введением колебаний в промежуточный ковш, кристаллизатор, в двухфазную зону синхронно или асинхронно и др. Следует отметить, что описанное многообразие вариантов существенно расширяется при использовании комплексных технологических приемов. Примером тому служит информационная модель разработанного многофункционального многоцелевого модуля, включающего 9 вариантов комплексной обработки в магнитогидродинамической установке [4], а также продувка алюминиевого расплава инертным газом и ЭГИО [7-9].

На рис. 1. представлена классификация схем нагружения металла: при непрерывной разливке (от «а» до «в»), в процессах спецэлектрометаллургии (от «г» до «е»), в процессах отливки слитков в изложницы (от «г» до «и»), подготовки расплава в ковше (от «к» до «м»), обработки расплава в плавильном агрегате, при выпуске и в форме (от «н» до «п»).

При сифонной разливке можно использовать ввод колебаний через прибыльную часть слитка волноводом ЭРГУК (рис.1, и). Донный подвод колебаний (через за-

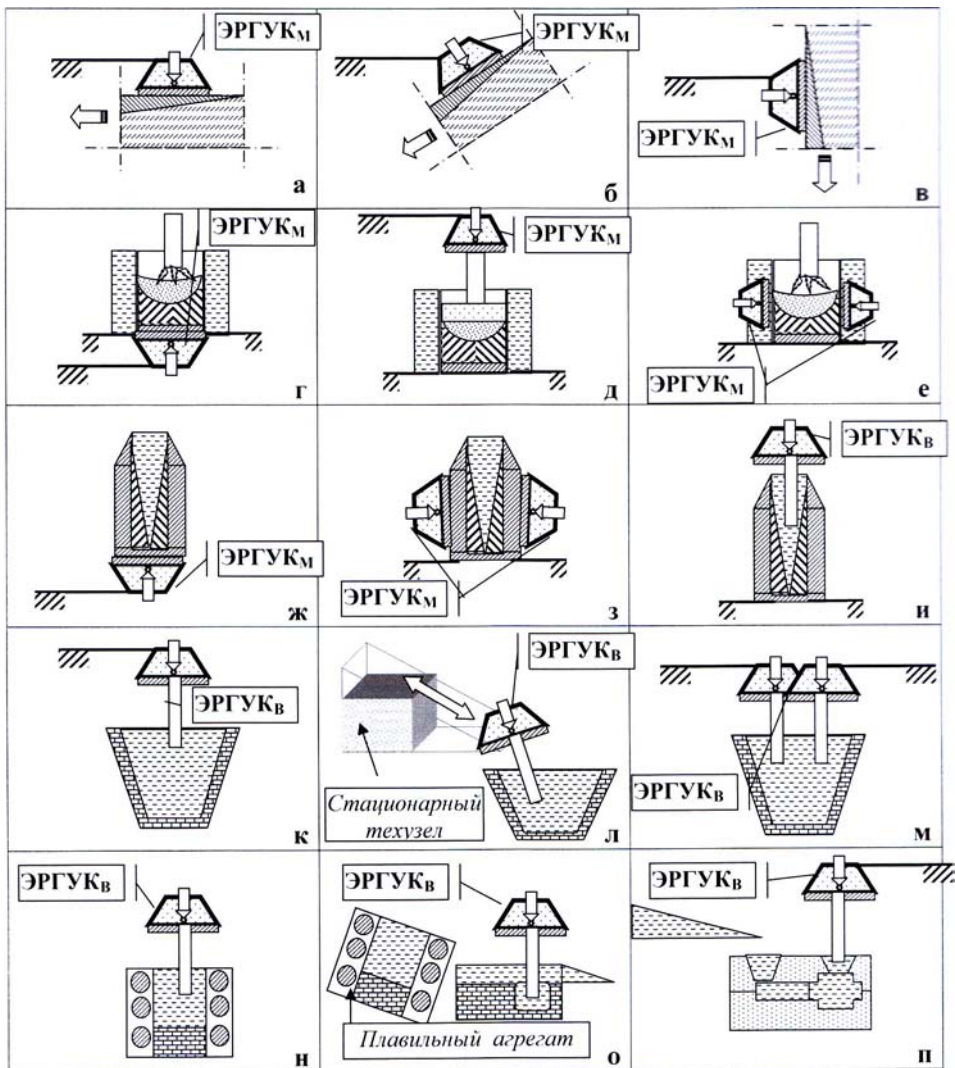
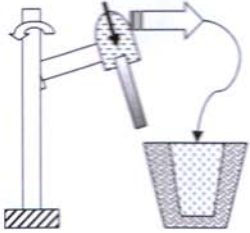
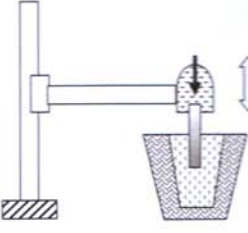
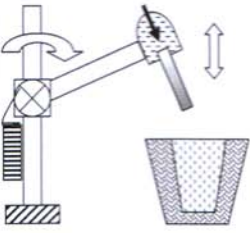
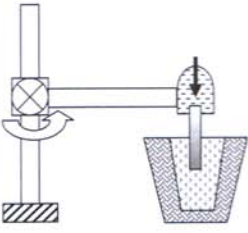
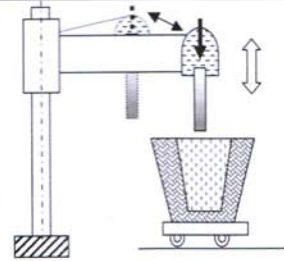
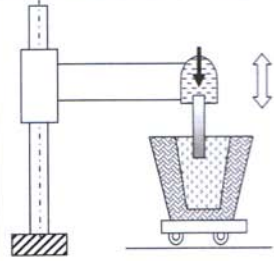
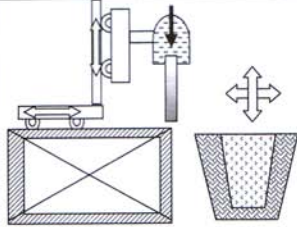
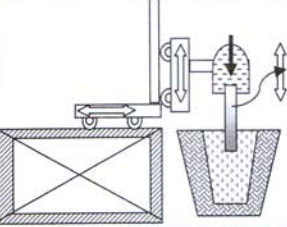
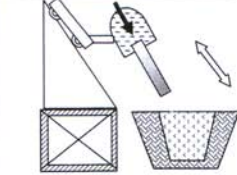
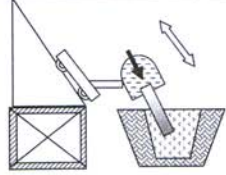


Рис. 1. Классификация схем нагружения металла при ЭГИО: а – горизонтально, через корочку непрерывнолитого слитка; б – под наклоном; в – вертикально; г – через загрузку при ВДП; д – через электрод при ЭШП; е – через стенку кристаллизатора; ж – через дно изложницы (кокиля); з – через боковую поверхность изложницы (кокиля); и – волноводом, через прибыль; к – волноводом в ковше, вертикально; л – волноводом, под углом к горизонту; м – рассредоточено в объеме ковша; н – в накопительной печи; о – в желобе; п – в форме; ЭРГУК_М, ЭРГУК_В – электроразрядный генератор упругих колебаний мембранного (м) и волноводного типов (в)

травку наплавляемого слитка, рис. 1, г) использовался в спецэлектрометаллургии при вакуумном дуговом (ВДП) [10] и электрошлаковом (ЭШП) переплавах. Так, при ВДП жаропрочных сплавов в опытном металле коэффициент измельчения макрозерна составил 16. При отливке электродов для ВДП и ЭГИО на двух уровнях (в вертикальной плоскости) существенно снизилась осевая пористость в жаропрочном сплаве. ЭГИО электрошлакового слитка также приводит к измельчению структуры, однако, наблюдается периодическая разнoзернистая структура [11]. При увеличении глубины ванны процесс измельчения стабилизируется. В качестве альтернативы может быть использована схема, приведенная на рис. 1, д или е. Эксперименты по ЭГИО непрерывнолитого слитка на радиальной установке показали эффективность совмещения трех схем воздействия (рис. 1, а-в) в одном технологическом процессе - обработка в вертикальной плоскости под кристаллизатором, на радиальном участке заготовки и горизонтальном [12].

Таблица 1. Классификация конструкций технологических блоков

Способ подачи	Схематическое изображение технического узла	
	начало процесса	при обработке
По криволинейной траектории		
Вертикально по дуге		
Горизонтально вокруг оси, вертикально по прямолинейной траектории		
Вертикально, горизонтально по прямолинейной траектории		
Вертикально и горизонтально под углом к горизонту		

Составной частью всех электрогидроимпульсных установок (ЭГУ) для ЭГИО является технологический блок, который служит средством достижения, как минимум, трех целей: фиксации ЭРГУК волноводного типа на заданном уровне, введению волновода ЭРГУК в расплав для формирования поля давления в нем; выведению волновода ЭРГУК из расплава после завершения ЭГИО. Анализ конструкций технологического оборудования для электрогидроимпульсной обработки расплава

Таблица 2. Технические характеристики ЭГУ для ЭГИО расплава

Модель	Масса расплава, т	Время обработки, мин	Время между обработками, мин	Частота следования импульсов, Гц	Энергия в импульсе, кДж	Потребляемая ГИТ мощность, кВА	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	Объем ЭРГУК, л	Размер мембраны, диаметр / толщина, мм
УВ 3	5	10	не регламентировано	2	5	30	0,78	115	680/15
УВ 4	25	10	не регламентировано	4;8;16	2,5;5;10	40	0,9	190	680/20
УВ 9	2-6	5	30	2-16	2,5;5	66	0,77	8	320/15
УВ 10	9-16	5	60	8;16	2,5;5	66	0,61	50	560/27
УВ 5	90	10	не регламентировано	10	5	220	0,87	3x38	560/16
УВ 12	5-9	5	60	8	2,5	66	1,1	115	740/14

позволил по методу подачи электроразрядного генератора волноводного типа к объекту обработки и введения волновода в расплав классифицировать пятью технологическими блоками. Результаты анализа приведены в табл. 1, 2.

Конструкция, реализующая первый тип технологических блоков, предусматривает перемещение по криволинейному пазу в верхней части полой стойки (поворот на угол 90° с одновременным опусканием ЭРГУК вниз) и погружение волновода в ковш по прямолинейной части паза в нижней части стойки (ЭГУ модели УВ 3). Конструкция, реализующая второй тип, – перемещение в вертикальной плоскости по дуге (УВ 4), хорошо зарекомендовала себя при обработке в ковшах массой от 15 до 50 т. Конструкция, реализующая третий тип, – перемещение горизонтально вокруг оси, а затем – вертикально по прямолинейной траектории. Конструкция, реализующая четвертый тип, – перемещение ЭРГУК на тележке в вертикальной плоскости, а затем – в горизонтальной, по прямолинейной траектории (УВ 10, УВ 5). Конструкция, реализующая пятый тип, предусматривает перемещение ЭРГУК на тележке с одновременным перемещением в вертикальной и



Рис. 2. Установка модели УВ12М

горизонтальной плоскостях за счет, движения тележки под углом 45-60° к горизонту (УВ 12, УВ 12 М). На рис. 2 представлена фотография ЭГУ модели УВ 12М.

Технологическая часть установки размещена над помещением высоковольтного оборудования. Для подачи ЭРГУК к объекту обработки использована конструкция, реализующая пятый тип технологического узла (табл. 1). Установка данного типа позволяет обрабатывать расплав в ковше, подаваемом на обработку краном. Таким образом, представленные результаты позволяют с достаточной прикладной точностью представить основные разработки технологических блоков ЭГУ для прогнозирования оптимальных технологических процессов ЭГИО. Одним из ключевых аспектов в решении проблемы эффективного использования ЭГУ в технологии получения отливок высокого качества является понимание условий подачи ЭРГУК к месту обработки.

Выводы

Предложена классификация и описаны известные методы ЭГИО металлов и сплавов. Такой подход позволяет оптимизировать выбор метода обработки и места нагружения жидкого и кристаллизующегося металла. Классификация технологического оборудования, используемого для ЭГИО расплава, разграничивает области практического использования ЭГИО при решении некоторых проблем металлургии и литейного производства.



Список литературы

1. Грабовый В. М. Описание подходов к выбору технологии электрогидроимпульсной подготовки расплава к разливке // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 21-29.
2. Грабовый В. М. Наукові і технологічні основи електрогідроімпульсної дії на структуру і властивості виливків із сплавів на основі заліза і алюмінію: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 2007. – 42 с.
3. Сінчук А. В. Підвищення якості литого металу методом електрогідроімпульсної обробки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 2007. – 21 с.
4. Многофункциональный технологический модуль как инструмент повышения качества отливок / В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, В. Н. Фиксен и др. // Литейн. пр-во. – 2006. – № 6. – С. 33-36.
5. Импульсные электротехнические устройства для обработки металла на предразливочной стадии в литейном производстве / В. Н. Цуркин, В. М. Грабовый и др. // Литейное производство на рубеже столетий: Тез. докл. (2-6 июня 2003 г.). – Киев: ФТИМС НАН Украины, 2003. – С. 18-21.
6. Цуркин В. Н., Грабовый В. М. Оценка эффективности внешнего физического воздействия на расплав // Процессы литья. – 2003. – № 4. – С. 29-31.
7. Пат. 11658 Україна, МПК В22D 27/08 (2006.01). Спосіб обробки розплаву металу / М. О. Брагін, Г. В. Волков, В. М. Грабовий та ін. – Опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
8. Пат. 8838 Україна, МПК⁷ В22D 27/08. Спосіб обробки розплаву металу / М. О. Брагін, Г. В. Волков, В. М. Грабовий та ін. – Опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
9. Пат. 76923 Україна, МПК В22D 27/08 (2006.01). Спосіб обробки розплаву металу та пристрій для його здійснення / Ю. М. Бондін, О. І. Вовченко, О.В. Горячек та ін. – Опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.
10. Экспериментальные исследования кристаллизации специальных сталей и сплавов при виброимпульсном нагружении / В. А. Бояршинов, В. М. Грабовый, П. П. Малюшевский и др. // Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа: Тез. докл. – Днепропетровск, 1979. – С. 76.
11. Металлургия электрошлакового процесса / Под ред. Б. Е. Патона и Б. И. Медовара. – Киев: Наук. думка, 1986. – 248 с.
12. Управление качеством структуры сортовых и трубных заготовок при электрогидроимпульсной обработке / А. Я. Глазков, В. Б. Добровольский, Г. В. Кашаковшвили и др. // Сталь. – 1988. – № 9. – С. 68-70.

Поступила 26.10.2009