



УДК 669.187.526:51.001.57

## НОВЫЙ МЕТОД ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСПЛАВА В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ УСТАНОВКАХ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Г. В. Жук, Н. П. Тригуб

Разработан новый метод диспергирования расплава из промежуточной емкости в процессе электронно-лучевого переплава. Создана технологическая оснастка для его реализации в электронно-лучевой печи. Описан процесс получения новым методом слитка алюминиевого сплава АМг1. Исследованы макро- и микроструктура полученного образца.

New method of melt dispersion from the intermediate crucible during electron beam remelting has been developed. Technological outfit for its realization in the electron beam furnace has been manufactured. Process of producing ingot of aluminium alloy АМg1 using the new method is described. Macro- and microstructures of the sample produced are examined.

**Ключевые слова:** электронно-лучевая установка; диспергирование расплава; быстрая кристаллизация; технологическая оснастка

Современные металлургические технологии предполагают формирование структуры и свойств металла на стадии его выплавки, что позволяет минимизировать последующие технологические затраты на термомеханическую обработку слитка или отливки. Это особенно актуально для легированных сплавов (жаропрочных, жаростойких, коррозионно-стойких и т.п.), при выплавке которых ставится задача получения измельченной структуры, преодо-

ления структурной и химической макро- и микро-неоднородности. Одним из путей ее решения является увеличение количества центров кристаллизации при затвердевании расплава металла путем повышения начальных скоростей охлаждения [1]. В условиях электронно-лучевого переплава значительно повысить скорость охлаждения металла при кристаллизации позволяет метод диспергирования расплава с поверхности расходуемой заготовки [2]. Основным недостатком метода является необходимость предварительного изготовления цилиндрической заготовки, к которой предъявляются высо-

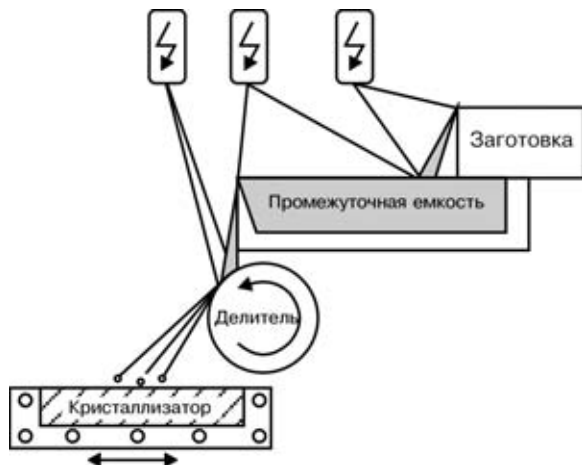


Рис. 1. Схема диспергирования расплава из промежуточной емкости

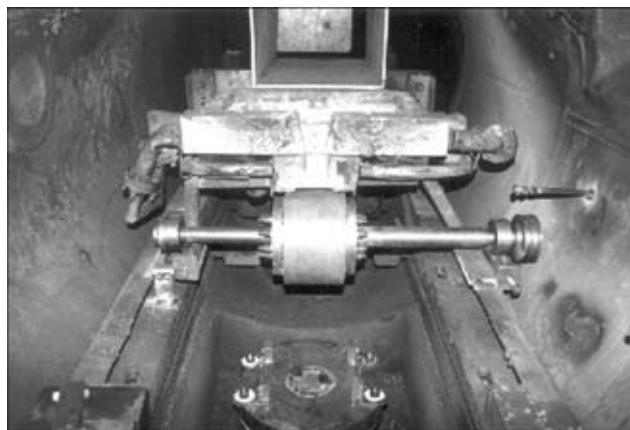


Рис. 2. Технологическая оснастка внутри рабочей камеры

© Г. В. ЖУК, Н. П. ТРИГУБ, 2002



Рис. 3. Модернизированная электронно-лучевая установка УЭ-208

кие требования по соосности и чистоте обработки поверхности.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработан новый способ диспергирования расплава металла непосредственно из промежуточной емкости с помощью вращающегося барабана-кристаллизатора (делителя) (рис. 1). Сущность способа состоит в следующем. В электронно-лучевой установке происходит плавление расходуемой заготовки или шихты как при электронно-лучевом переплаве. В качестве переплавляемого сырья могут быть использованы как насыпные шихтовые материалы (лом, губчатые полуфабрикаты), так и цельная сварная заготовка (в случае легирования основного металла сплава). Расходуемая заготовка подается механизмом подачи в зону плавки и сплавляется электронными лучами в промежуточную емкость. После наращения гарнисажа в промежуточной емкости образуется металлическая ванна, которая поддерживается путем обогрева сканирующими электронными лучами. Накопленный в промежуточной емкости жидкий металл сливается на вращающийся барабан-кристаллизатор, где он намораживается в виде гарнисажа до необходимой толщины. Затем барабану-кристаллизатору сообщается высокая скорость вращения (порядка 2000 об/мин) и поверхность гарнисажа плавится концентрированным электронным лучом. Под воздействием центробежных сил жидкий металл срывается с поверхности гарнисажа по касательной к фокальному пятну концентрированного электронного луча в виде потока жидких дисперсных капель. Поток жидких капель расплава, имеющих малый диаметр (порядка 1 мм) и высокую скорость (порядка 10 м/с) направляют на формообразующую поверхность (кристаллизатор). В кристаллизаторе под воздействием напорного давления капли растекаются в тонкий слой (порядка 0,1 мм) и затвердевают без образования жидкой ванны. В качестве кристаллизатора могут быть использованы водоохлаждаемый поддон (для получения слитков), металлическая пластина (для получения биметаллических композиций), разделка свариваемых деталей (для сварки), каркас из упрочняющих элементов (для получения композиционных материалов).



Рис. 4. Технологическая оснастка, смонтированная на подвижной раме: 1 — нерасходуемый короб; 2 — промежуточная емкость; 3 — барабан-кристаллизатор

С целью реализации нового метода диспергирования из промежуточной емкости была переоборудована установка УЭ-208 [3]. На установке смонтирован механизм диспергирования, который конструктивно состоит из диспергирующего барабана-кристаллизатора со сменными рабочими поверхностями (титан, медь), системы передачи вращения с вакуумно-плотным переходником, электродвигателя и системы управления.

Барабан-кристаллизатор смонтирован на валу с помощью специальной системы крепления, минимизирующей теплопередачу от рабочей поверхности барабана-кристаллизатора на вал. Вал, в свою очередь, закреплен в подшипниках на опорах, которые фиксируются на раме установки (рис. 2). Снаружи установки расположен трехфазный асинхронный двигатель мощностью 2,2 кВт (рис. 3). Вращение передается с двигателя на барабан-кристаллизатор с помощью гибкой передачи через вакуумно-плотную муфту, которая вмонтирована в рубашку охлаждения рабочей камеры установки УЭ-208. Управление механизмом вращения осуществляется с помощью электронной системы «РАЗМЕР», при

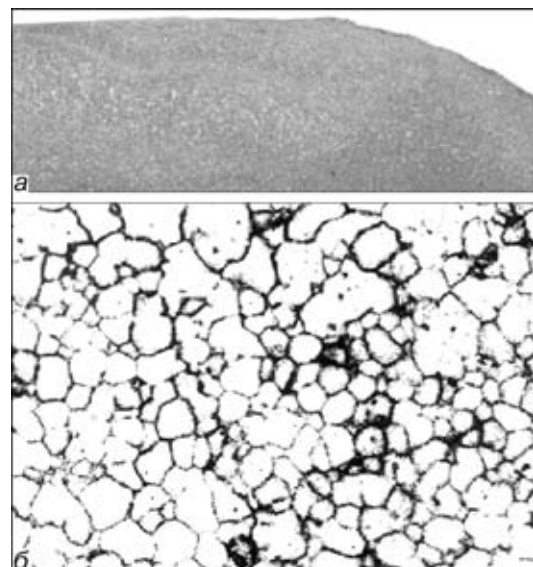


Рис. 5. Макроструктура (а) и микроструктура (б,  $\times 50$ ) образца сплава АМg1, полученного из диспергированного расплава



этом скорость вращения делителя плавно регулируется в диапазоне 0... 2500 об/мин. На камере слитка установки смонтированы разъемы для введения в камеру плавки термопар (3 шт.). Использовали вольфрамрениевые и хромель-алюмелевые термопары, которые подключали к самописцу КСП-4. Кристаллизатор (подложка), имеющий горизонтальные отверстия для крепления термопар, установлен на поддоне штока вытягивания слитка, что позволяет за счет вертикального перемещения штока регулировать положение кристаллизатора относительно диспергированного потока.

Плавку проводили в соответствии с методикой, описанной выше. Остаточное давление во время плавки составляло: в камере плавки 0,05 Па, в камере электронно-лучевого нагревателя 0,005 Па. В качестве шихты использовали лом алюминиевого сплава АМг1. Шихта подавалась из нерасходуемого короба в промежуточную емкость, из которой расплав сливался на барабан-кристаллизатор (рис. 4). Опытным путем подбирали расстояние от сливного носка промежуточной емкости до поверхности барабана-кристаллизатора в вертикальном и горизонтальном направлениях, скорость вращения барабана-кристаллизатора. В результате была сформиро-

вана струя капле диспергированного расплава, направленная на подложку. Процесс диспергирования проводили до наращивания слитка толщиной 40 мм. Затем электронно-лучевой нагрев прекращали, охлаждение слитка проводили в условиях вакуума.

Методом спектрального анализа определяли химический состав полученного образца, %: Al-основа, Cu 0,17, Fe 0,14, Mg 0,52, Mn 0,02, Si 0,1. Исследовали макро- и микроструктуру поперечного сечения образца (рис. 5). Макроструктура образца мелкозернистая, без пор и несплошностей. Наблюдаются участки с различной величиной зерна — 100... 400 мкм. Микроструктура образца гетерогенная, состоящая из зерен  $\alpha$ -твердого раствора и выделений  $Mg_2Al_3$  по их границам.

1. Чалмерс Б. Теория затвердевания / Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1968. — 288 с.
2. Способ электронно-лучевого литья из диспергированного расплава / А. Л. Тихоновский, П. А. Пал, Д. А. Козлитин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1993. — № 3. — С. 35–39.
3. Электронно-лучевая установка УЭ-208 / А. Л. Тихоновский, А. А. Тур, А. Н. Кравец и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1992. — № 1. — С. 71–74.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 17.10.2002

Министерство образования и науки Украины  
Национальная академия наук Украины  
Академия инженерных наук Украины  
Запорожский национальный технический университет

## X Международная научно-техническая конференция “Неметаллические включения и газы в литейных сплавах”

*(посвящена 70-летию основания кафедры  
“Машины и технология литейного производства”)  
12 – 16 мая 2003 года  
Украина, г. Запорожье, ЗНТУ*

### Тематика конференции

- Разработка новых методов исследований и контроля неметаллических включений и газов в сплавах
- Морфология неметаллических включений в процессе производства, термической обработки и эксплуатации отливок
- Модифицирование и легирование литейных сплавов
- Повышение степени чистоты литейных сплавов
- Вакуумная металлургия, специальные методы металлургии для получения особо чистых высококачественных сталей и сплавов

### Адрес оргкомитета

Украина, 69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64  
Запорожский национальный технический университет, кафедра МиТЛП  
Тел.: (0612) 69-84-42  
E-mail: yana\_vas@zstu.edu.ua