



УДК 669.187.58

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА

В. А. Шаповалов, И. В. Шейко, Ю. А. Никитенко

Исследована работоспособность модулей для диспергирования расплава при индукционной плавке в секционном кристаллизаторе. Рассмотрены особенности эксплуатации диска-холодильника с принудительным охлаждением жидкостью или газом и без него.

The performance of modules for melt dispersion during induction melting in a sectional mould was investigated. Peculiarities of service of a disc-cooler with a forced cooling by liquid or gas and without it are described.

**Ключевые слова:** диспергирование; секционный кристаллизатор; металлический расплав; диск-холодильник; быстро закаленные чешуйки; аморфная структура

Научно-технический прогресс в наукоемких отраслях промышленности неразрывно связан с применением новых материалов. Это основной путь к выходу на качественно новый этап развития любой отрасли промышленности. В этой связи в последние годы зафиксирован возрастающий интерес к проблеме использования материалов с аморфной и микрокристаллической структурами, свойства которых существенно отличаются от свойств тех же материалов в обычном кристаллическом состоянии.

Аморфную и микрокристаллическую структуру металлов и сплавов получают главным образом способами сверхбыстрой закалки из жидкого состояния, один из которых разработан в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины на базе индукционной плавки в секционном кристаллизаторе (ИПСК) [1, 2]. Суть этого способа заключается в совмещении ИПСК с процессом диспергирования расплава при помощи быстро вращающегося диска-холодильника (рис. 1). Здесь огнеупорный тигель заменен секционным водоохлаждаемым кристаллизатором, т.е. для приготовления расплава используют процесс ИПСК.

Совмещение ИПСК и сверхбыстрой закалки расплава позволяет исключить контакт металлического расплава с огнеупорным материалом тигля и тем самым решить вопрос получения быстро закаленных металлических материалов из высокорекреационных

металлов, а также сплавов, содержащих указанные металлы в качестве легирующих элементов.

Особенностью данного процесса является применение расходуемой металлической заготовки заданного химического состава для получения расплава и его последующего диспергирования. Заготовку вводят снизу в секционный кристаллизатор, в ко-

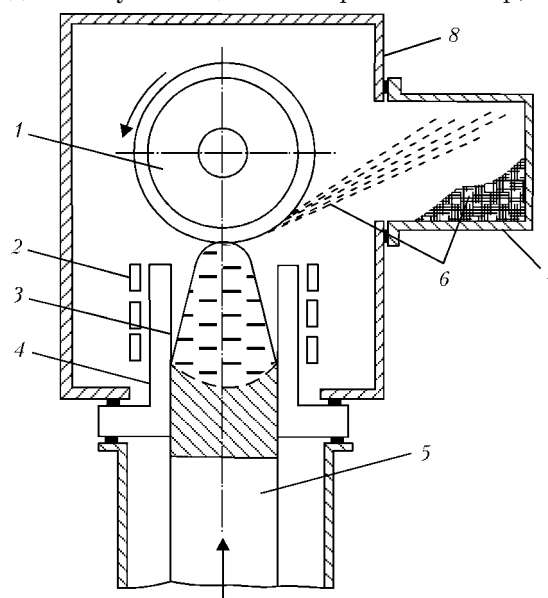


Рис. 1. Принципиальная схема процесса диспергирования расплава, совмещенная с ИПСК: 1 — диск-холодильник; 2 — индуктор; 3 — металлическая ванна; 4 — секционный кристаллизатор; 5 — расходуемая заготовка; 6 — быстро закаленные чешуйки; 7 — бункер; 8 — плавильная камера

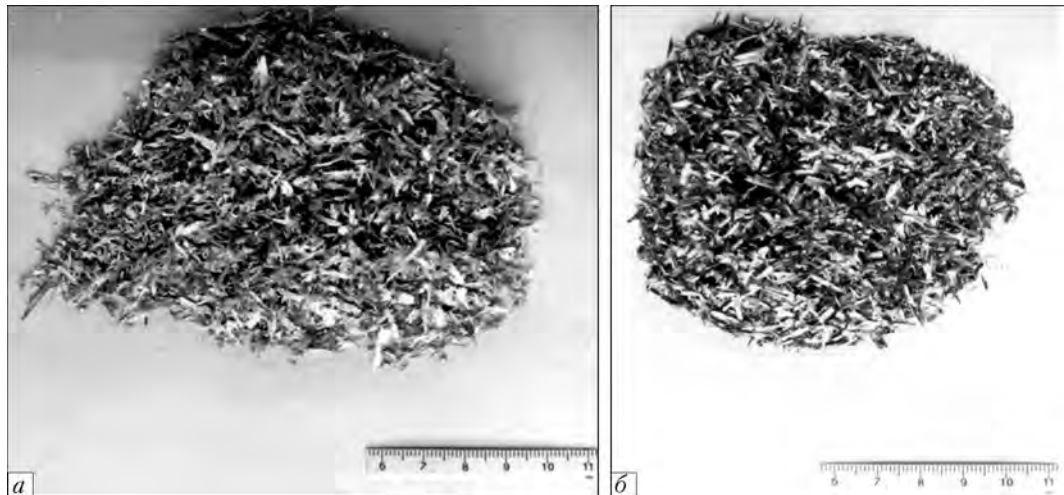


Рис. 2. Быстрозакаленный чешуйчатый материал: *а* – алюминиевый сплав Д16; *б* – титан ВТ1-0

тором производят ее расплавление на уровне индуктора. Образующаяся металлическая ванна опирается на нерасплавившуюся нижнюю часть заготовки. В зоне индуктора металлический расплав под действием электромагнитного поля отжимается от стенки секционного кристаллизатора, и его свободная поверхность принимает куполообразную форму.

Путем варьирования электрической мощности, подводимой к индуктору, вершину выпуклого мениска ванны можно приподнять над верхним срезом кристаллизатора и стабильно удерживать в таком положении. Вращающийся диск-холодильник опускают вниз до его касания с вершиной выпуклого мениска ванны и производят диспергирование металлического расплава. При контакте рабочей дорожки диска-холодильника происходит намораживание тонкой пленки металла, которая в дальнейшем отрывается от ее поверхности под действием центробежных сил. В зависимости от формы рабочей дорожки можно получать быстрозакаленный материал в виде ленты или чешуек (рис. 2).

Для стабильного процесса диспергирования требовалось создать модуль с вращающимся диском-холодильником, температура рабочей дорожки которого не изменялась бы в процессе диспергирования. Первые эксперименты по диспергированию металлического расплава выполнили с использованием неохлаждаемого медного диска-холодильника диаметром 170 мм и толщиной у основания 20 мм (рис. 3).

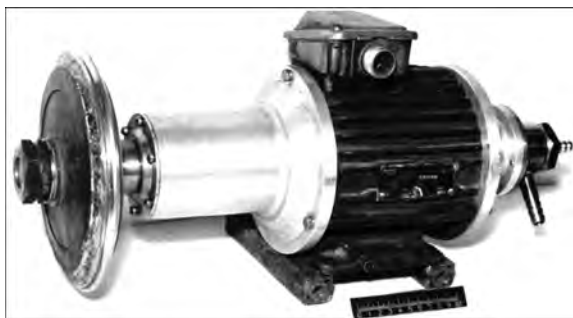


Рис. 3. Модуль для диспергирования расплава с неохлаждаемым диском-холодильником

Скорость вращения диска регулировали в диапазоне  $(2...4) \cdot 10^3$  об/мин, что обеспечивало на дорожке диска линейную скорость 18...36 м/с. Поскольку диск-холодильник при контакте с металлическим расплавом нагревался, продолжительность

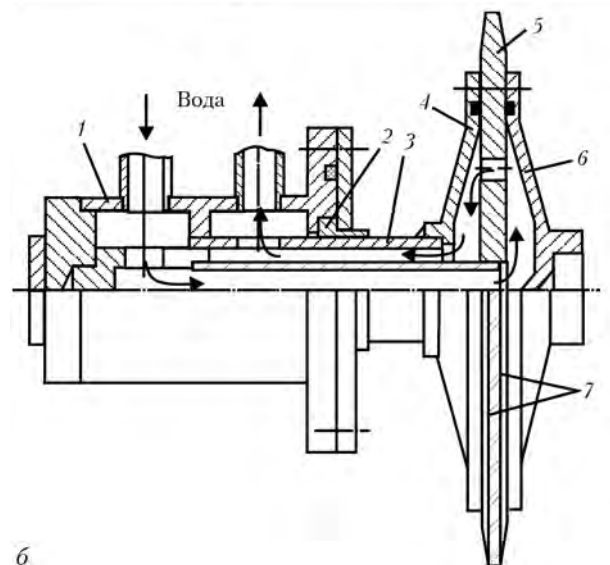
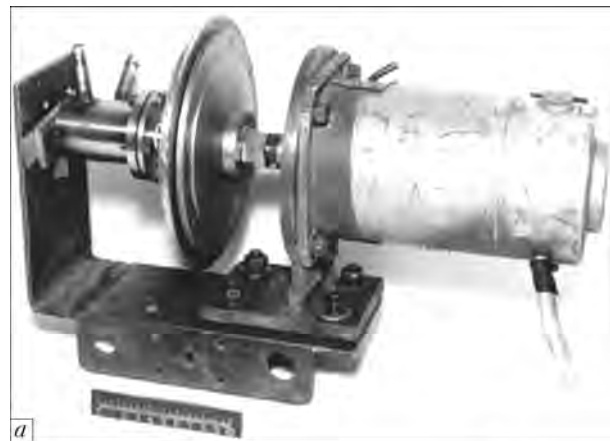


Рис. 4. Модуль для диспергирования расплава с водоохлаждаемым диском-холодильником: *а* – общий вид; *б* – схема конструкции модуля; 1 – блок водяных коллекторов; 2 – уплотняющая втулка (фторопласт); 3 – вал; 4 – крышка центрирующая; 5 – диск-холодильник; 6 – крышка глухая; 7 – прорези

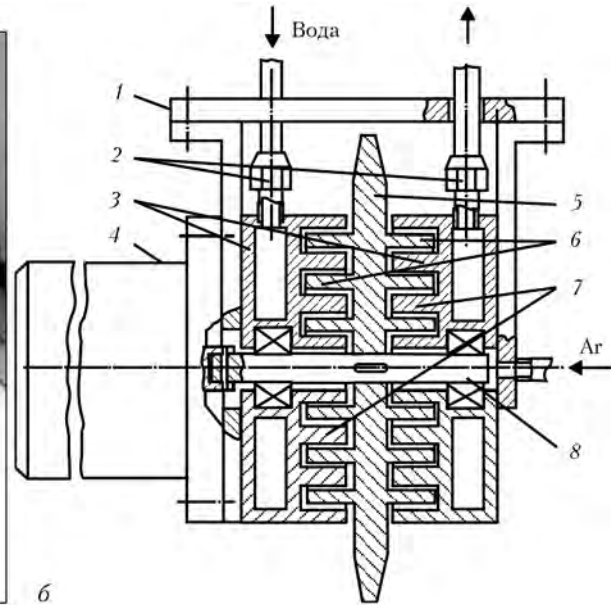


Рис. 5. Модуль для диспергирования расплава с газовым охлаждением диска-холодильника: *а* — общий вид; *б* — схема конструкции модуля; 1 — плита основы; 2 — водяная магистраль; 3 — боковые неподвижные элементы охлаждения диска-холодильника; 4 — электродвигатель; 5 — диск-кристаллизатор; 6 — цилиндрические выступы диска-холодильника; 7 — цилиндрические выступы на неподвижном элементе охлаждения; 8 — вал

контакта ограничивали 20... 40 с. В противном случае происходило неконтролируемое намораживание металла на диск, и он не отрывался от рабочей дорожки.

В качестве модельного материала для диспергирования использовали алюминиевый сплав Д16. Скорость закалки металла составляла  $(3... 5) \cdot 10^4... 1 \cdot 10^5$  град/с. Основным недостатком неохлаждаемого диска-холодильника заключался в его нагреве в ходе диспергирования. Процесс приходилось прерывать и в течение нескольких минут (до 10) ожидать естественного охлаждения диска.

Другой его недостаток состоял в сравнительно невысокой скорости закалки расплава, причем по ходу плавки она снижалась из-за невозможности охладить диск-холодильник до температуры, кото-

рую он имел в начале процесса. В силу указанных причин производительность оказывалась низкой.

Следующим этапом в развитии предложенного Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАНУ способа диспергирования были разработка и создание модуля с водоохлаждаемым диском-холодильником (рис. 4). Диаметр диска равнялся 170 мм, толщина — 6 мм.



Рис. 6. Размещение модуля для диспергирования расплава в плавильной камере опытной установки

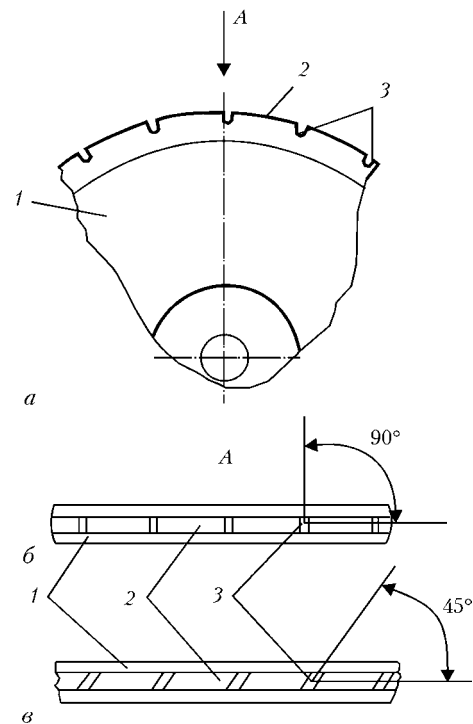


Рис. 7. Схема выполнения прорезей на рабочей дорожке диска-холодильника: *а* — вид сбоку; *б* — прорези, параллельные оси вращения диска; *в* — прорези под углом 45°; 1 — боковая поверхность; 2 — рабочая дорожка; 3 — прорези



Испытания модуля осуществляли на тех же режимах, что и неохлаждаемого медного диска-холодильника, т. е. скорость вращения регулировали в диапазоне  $(2...4) \cdot 10^3$  об/мин. Расход охлаждающей воды не превышал 3 л/мин. Применение водяного охлаждения сняло ограничения по длительности контакта диска-холодильника с металлической ванной, в результате возросла скорость закалки металла до  $1 \cdot 10^6...1 \cdot 10^7$  град/с. Тем не менее работоспособность модуля в целом оказалась недостаточной, поскольку через 6...8 мин работы (вращения диска) происходила разгерметизация модуля по фторопластовой втулке (рис. 4, б). Поэтому нормальная работа модуля ограничивается примерно 6 мин. Причиной протекания воды через уплотнение является чрезвычайно высокая скорость вращения вала, на котором закреплен диск-холодильник, из-за чего от применения модуля с водяным охлаждением пришлось отказаться.

Последующие отработки режимов диспергирования выполняли с использованием модуля, имеющего газовое охлаждение (рис. 5). Данный модуль состоит из медного диска-холодильника, на котором с двух сторон выполнены концентрические выступы в виде цилиндров (рис. 5, б). Диск жестко закреплен на валу, который в свою очередь через муфту связан с валом электродвигателя постоянного тока. Цилиндрические концентрические выступы диска входят в соответствующие пазы, выполненные в неподвижных охлаждаемых элементах. Между цилиндрическими выступами диска-холодильника и пазами в неподвижных охлаждаемых элементах есть конструктивные зазоры размером не более 1 мм, которые позволяют диску-холодильнику свободно вращаться в охлаждаемых элементах. Охлаждаемые боковые элементы жестко закреплены на плите основы. Подвод и отвод воды к элементам происходят с помощью водяной магистрали. Для интенсификации охлаждения диска-холодильника во время диспергирования расплава в зазоры между цилиндрическими выступами диска и соответствующими пазами элементов производится подача инертного газа.

При наличии малых зазоров между охлаждаемыми элементами и диском, вращающимся с большой скоростью, подвод инертного газа в зазор интенсифицирует охлаждение диска-холодильника и его рабочей дорожки. Это позволяет в течение неограниченного промежутка времени выполнять диспергирование расплава.

Габаритные размеры дали возможность разместить модуль для диспергирования в плавильной камере установки ИПСК, а соответствующие вводы

обеспечивали питание электропривода током, водоохлаждение элементов модуля и подведение инертного газа (рис. 6).

Для получения лент использовали диски-холодильники с разной шириной рабочей дорожки. Длина полученных лент колебалась от 0,2 до 0,5 м. Однако основное внимание уделяли получению металлических чешуек, поскольку их проще размалывать в шаровых мельницах, т. е. переводить в порошкообразный вид для последующего изготовления образцов способом спекания.

Изготовление металлических чешуек имеет свою специфику. Для этого рабочую дорожку диска-холодильника необходимо разделить на определенные отрезки — прорезы. Испытания диска с прорезами на рабочей дорожке показали, что процесс диспергирования проходит стабильно только при определенном направлении прорезей относительно оси вращения диска. В случае перпендикулярного расположения прорезей на дорожке получить металлическую чешую невозможно (рис. 7, б), поскольку при касании рабочей дорожки значительной части поверхности расплава металлопродукт имеет вид брызг без соответствующей формы. Таким образом, использование диска-холодильника с перпендикулярными прорезами на рабочей дорожке не дает возможности получать металлопродукт в виде чешуек.

Получение металлических быстрозакаленных чешуек стало возможным благодаря прорезам на рабочей дорожке, выполненным под углом  $45^\circ$  (рис. 7, в). Благодаря этому процесс диспергирования протекает стабильно, без выбросов металлической ванны, а получаемый металлопродукт имеет четкую форму чешуек с определенной длиной, что соответствует расстоянию между прорезами на рабочей дорожке диска-холодильника.

На созданном оборудовании получены образцы быстрозакаленных металлических материалов на основе сплава алюминия Д16, сплава системы никель-титан (нитинол), технически чистого титана и др. (рис. 2).

1. Пат. 69514 Україна, МПК 8 В 22 D 27/00. Спосіб отримання аморфних та дрібнозернистих металів / Б. Є. Патон, Ю. В. Латаш, І. В. Шейко та ін. — Опубл. 15.09.2004; Бюл. № 9.
2. Получение быстрозакаленных металлических материалов с применением процесса индукционной плавки в секционном кристаллизаторе / Б. Е. Патон, Ю. В. Латаш, И. В. Шейко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1993. — № 2. — С. 50–55.

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

Поступила 23.02.2009