

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВОВ ЦИРКОНИЯ

УДК 621.774

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИТЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВОВ ЦИРКОНИЯ В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ УСТАНОВКАХ*С.В. Ладохин, В.Г. Шмигидин, В.Б. Чернявский, Н.И. Матюшенко**(Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев)*

Предложена технология получения трубных заготовок для изготовления оболочек тепло-выделяющих элементов и канальных труб. Предполагается, что эту технологию можно будет реализовать при создании отечественного ЛТП на базе существующего в Украине производства циркония методом кальцийтермического восстановления. В основу предложены положены результаты выполненных во ФТИМС технологических исследований и конструкторских разработок по использованию для получения трубных заготовок электронно-лучевой литейной технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Целесообразность применения электронно-лучевой литейной технологии (ЭЛЛТ) для получения трубных заготовок определяется следующими предпосылками. Во-первых, при ЭЛЛТ исключается принятый в настоящее время при производстве ТРЕХ-трубы горячий передел, основанный на ковке или горячей обработке слитков развесом до 3тс применением винтовой прокатки. Эти технологические операции характеризуются повышенной трудоемкостью и высоким расходом металла на переделах. Во-вторых, процесс кальций термического восстановления циркония практически исключает возможность применения ВДП для рафинирующего переплава из-за сложности формирования расходоуемой заготовки (электрода) и в то же время делает оправданным использование для этой цели ЭЛЛТ, что определяет целесообразность применения электронно-лучевой технологии также при последующих переделах. В третьих, при ЭЛЛТ обеспечивается более эффективное рафинирование металла в тигле с электромагнитным перемешиванием расплава, что актуально для циркония кальцийтермического восстановления. В-четвертых, ЭЛЛТ заметно расширяет возможности переработки отходов циркониевого производства.

В основе проводимых работ лежит электронно-лучевая гарнисажная плавка (ЭЛЛТ) с электромагнитным перемешиванием расплава, являющаяся оригинальной отечественной

разработкой [1,2]. Использование электромагнитного перемешивания (ЭМП) имеет следующие преимущества. Во-первых, в несколько раз увеличивается масса сливаемого из тигля расплава. Во-вторых, несмотря на дополнительный расход электроэнергии на ЭМП удельный его расход снижается (благодаря значительному увеличению массы расплава). В-третьих, появляется возможность введения легко испаряющихся элементов в расплав в ходе плавки и таким образом решается задача выплавки многокомпонентных сплавов. И, наконец, в-четвертых, открываются перспективы разработки технологических приемов, которые невозможно реализовать без перемешивания расплава, например, таких, как слив металла через отверстие в днище тигля, умышленное замораживание ванны с последующим быстрым повторным расплавлением металла, проведение циклической тепловой обработки расплава в ходе плавки и др. Некоторые из этих приемов используются в ходе проводимых технологических разработок. Характерные для плавки с ЭМП недостатки в виде резко выраженной не стационарности электронно-лучевого нагрева или необходимости размещения электронно-лучевой пушки и тигля на одной вертикальной оси, при ЭЛЛТ не имеют принципиального значения, поскольку не связаны с необходимостью формирования слитка.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

При использовании литейной технологии для получения трубных заготовок возможны два варианта литья: стационарным и центробежным методом. На рис.1 представлены схемы получения трубных заготовок по традиционной (а) и по предлагаемым (б и в) технологическим решениям.

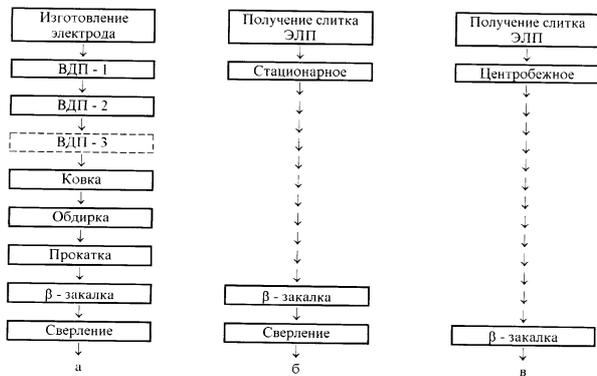


Рис. 1. Схемы получения трубных заготовок: традиционная схема с формированием слитка при ВДП и дальнейшим его переделом (а); предлагаемые схемы литейной технологии с использованием стационарного и центробежного литья (б, в)

Из анализа приведенных на рис.1 схем получения трубных заготовок следует, что литейная технология позволяет исключить по меньшей мере 4 или 5 операций, связанных с большими расходными коэффициентами и с возможностью окисления металла при переделах.

С технологической точки зрения для практической реализации более простым представляется стационарный метод литья заготовок (см. рис.1,б). Однако его очевидным недостатком является появление в верхней части заготовки дефектов усадочного происхождения. Как правило, дефектами оказывается пораженная часть отливки, достигающая 30% ее высоты, которую приходится удалять. С целью устранения этого недостатка разработана схема заливки заготовок через сливное отверстие в днище тигля, которая позволяет после слива расплава в форму проводить обогрев металла электронным лучом в головной части и за счет этого вывести усадочную раковину. При этом, однако, макроструктура головной части заготовки характеризуется заметным укрупнением зер-

на. Кроме того, обычно не устраняется рассеянная пористость, характерная для стационарного литья. Насколько допустимы эти недостатки следует выяснить в ходе прокатки заготовок и получения трубных изделий. В целом проведенные к настоящему времени исследования показывают, что для стационарной заливки сплава КТЦ110 всегда характерна заметная разнотерность кристаллического строения по сечению и высоте формируемой заготовки. При этом, однако, распределение ниобия по объему металла равномерное, а микроструктура характеризуется весьма чистыми границами зерен, как это видно на рис.2.

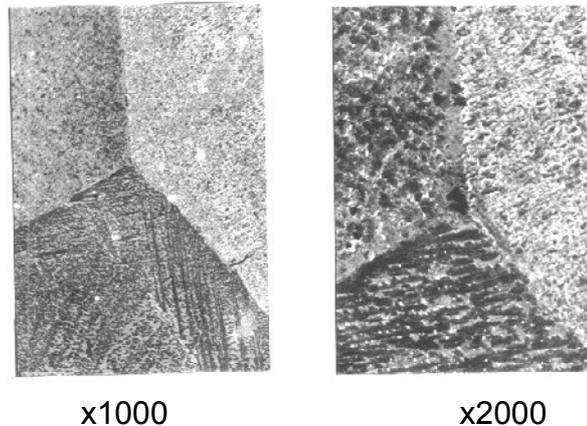


Рис. 2. Микроструктура сплава КТЦ 110 отлитого стационарным методом

Была произведена проверка возможности наложения на сливаемый в стационарную форму расплав электромагнитных полей, которое показало некоторое измельчение зерна и уменьшение объема зоны, поражаемой усадочными дефектами. Однако, к сожалению, пока не удается найти приемлемое конструкторское решение такой технологической схемы с точки зрения обеспечения требуемой стабильности работы устройства для ЭМП.

Более перспективным представляется применение центробежного метода получения трубных заготовок (см. рис.1,в), преимуществами которого являются получение достаточно мелкозернистого и равномерного кристаллического строения по сечению заготовки и высокая плотность материала отливки, приближающаяся к плотности ковального изделия. Важным моментом является также исключение операции сверления заготовки,

что уменьшает отходы и упрощает технологический процесс. В настоящее время отработана технология формирования центробежно-литой заготовки с диаметром отверстия 50...60 мм. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на уменьшении этого диаметра до 30 мм и получении опытной партии трубных заготовок из кондиционного металла, так как отработка процесса формирования центробежнолитой заготовки проводилась на некондиционном сплаве КТЦ110.

Перспективным направлением применения центробежного литья может быть получение заготовок большого диаметра, достаточного для формирования расходоуемых электродов для ВДП. В этом случае не только упрощается технология изготовления таких электродов, особенно в случае выплавки сложнолегированных сплавов, но и должно заметно улучшиться их качество, что будет обеспечивать более стабильное проведение процесса ВДП. Однако главное преимущество предложения состоит в использовании для получения таких заготовок оборотов циркония.

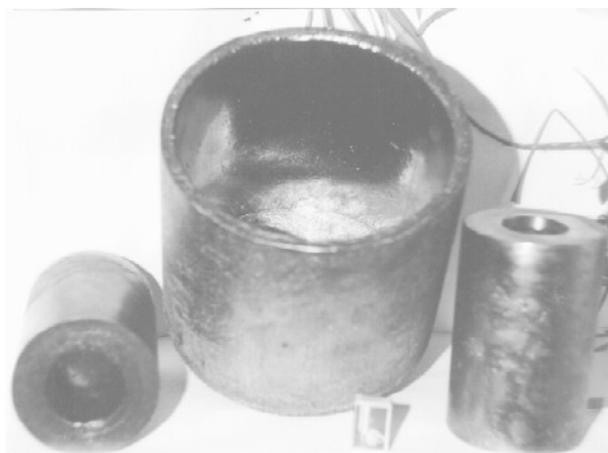


Рис. 3. Центробежнолитые трубные заготовки диаметром 140 мм и заготовка для формирования электрода для ВДП диаметром 300 мм

На рис.3 приведены фотографии опытных центробежно-литых заготовок наружным диаметром 140 и 300 мм, полученных из отходов сплава КТЦ110. Поскольку для получения кондиционного металла в сплав КТЦ110 необходимо добавлять по предварительной оценке до 30~40% йодидного циркония, представляет интерес отработка тех-

нологии ЭЛЛТ требуемого сплава из чистых металлов, т.е. КТЦ110, йодидного циркония и ниобия. Проведенные предварительные исследования свидетельствуют о равномерном распределении ниобия по объему металла при таком варианте плавки.

Принципиально новым и перспективным представляется получение сложно легированного сплава циркония типа Э635 при ЭЛЛТ. Предлагаемая нами схема выплавки такого сплава предусматривает проведение плавки и рафинирования первоначально сплава КТЦ110, а затем введение в расплав в тигле присадок олова и железа. Установлено, что олово целесообразно вводить в жидком виде, а железо - в виде кускового материала, который непосредственно перед вводом в ванну следует подогревать. Разработаны и проверены в реальных условиях плавки устройства для ввода присадок и собственно технология ввода. Оптимальное время выдержки расплава в тигле при ЭМП ванны после ввода присадок для его гомогенизации и равномерного распределения вводимых элементов составляет 3...5 минут (в зависимости от массы расплава и условий проведения плавки). При этом потери олова испарением составляют 30...40%. Еще одной технологией, которую предусматривается разработать в ближайшее время, является электромагнитное перемешивание расплава в кристаллизаторе в процессе формирования слитка при рафинирующей плавке, которая достаточно успешно применяется при получении стальных непрерывно-литых слитков [3]. Эта технология имеет целью улучшить кристаллическое строение слитка и, возможно, интенсифицировать рафинирование металла. Предполагается, что при этом повысится качество литой трубной заготовки при последующих переделах. Однако следует обратить внимание на то, что улучшение кристаллического строения слитка рафинирующего электронно-лучевого переplava особенно важно в случае, если придется отказаться от получения литых заготовок и перейти к традиционной схеме их производства. Весьма вероятно, что в этом случае более высокое качество слитка рафинирующего переplava позволит ограничиться при

дальнейших переделах одним ВДП.

КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Комплекс выполняемых в настоящее время конструкторских работ включает разработку экспериментальных и промышленных установок, тиглей с системами ЭМП, электронно-лучевой пушки, кристаллизатора с системой ЭМП для выплавки слитков, центробежного устройства. В основе большинства этих разработок лежит накопленный ранее опыт по созданию оборудования для ЭЛЛТ различных металлов и сплавов [4].

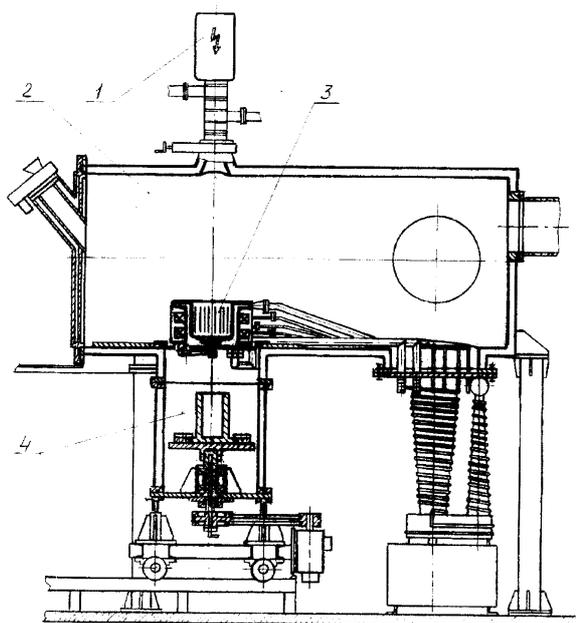


Рис. 4. Схема экспериментальной установки ФТИМС: 1 - электронно-лучевая пушка; 2 - вакуумная камера; 3 - гарнисажный тигель с СЭМП и донным сливом расплава; 4 - камера литейной формы

Экспериментальные установки предназначены для проведения технологических исследований. В настоящее время разработаны два типа экспериментальных установок: во ФТИМС - на базе печи ХЭЛП-1 и на ГНПП «Цирконий» - на базе печи ЕМО-250.

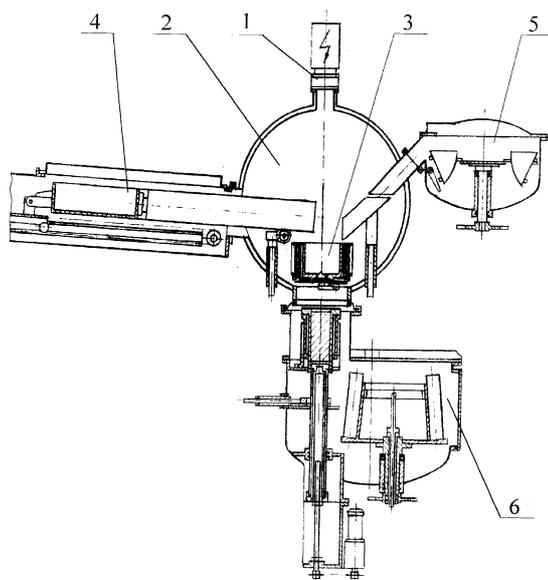


Рис. 5. Схема экспериментальной установки на базе печи ЕМО-250: 1 - электронно-лучевая пушка; 2 - вакуумная камера; 3 - тигель с СЭМП и донным сливом расплава; 4 - механизм подачи заготовок на переплав; 5 - устройство для загрузки в тигель сыпучей (кусковой) шихты; 6 - камера литейных форм

Схемы этих установок приведены соответственно на рис. 4 и 5. Обе установки в настоящее время уже полностью смонтированы и находятся в эксплуатации. Все рассмотренные выше технологические разработки выполнены на этих установках.

Первая из указанных установок позволяет проводить выплавку сплавов и заливку трубных заготовок как стационарным, так и центробежным методом. Масса сливаемого расплава достигает 40 кг. Вторая установка пока дает возможность получать отливки только стационарным методом при массе сливаемого из тигля расплава до 60 кг. В настоящее время разрабатывается конструкция центробежного устройства и для этой установки.

Промышленные установки разрабатываются для рафинировочного переплава циркония кальций термического восстановления с получением слитков и для производства литых трубных заготовок. Схемы рафинировочной и литейной установок приведены соответственно на рис. 6 и 7.

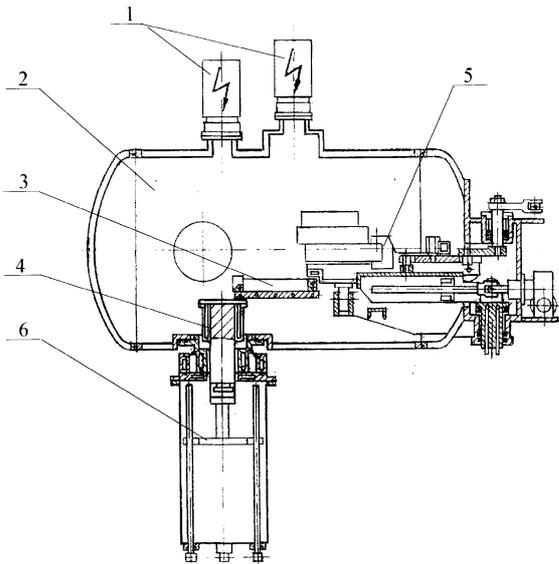


Рис. 6. Схема промышленной установки для рафинирования циркония кальциетермического восстановления: 1 - электронно-лучевые пушки; 2 - вакуумная камера; 3 - промежуточная емкость (холодный под); 4 - кристаллизатор; 5 - механизм подачи заготовок на переплав; 6 - механизм вытягивания слитка

Установленная мощность электронно-лучевого нагрева составляет соответственно 600 и 300 кВт. Предусматривается, что литейная установка будет иметь возможность переплавлять как слитки, так и обороты (скрап). Окончательный вариант способа получения трубных заготовок - стационарный или центробежный - пока не определен. В настоящее время выполнены технические проекты обеих установок и по завершении технологических исследований можно будет приступить к разработке рабочих чертежей.

Тигли с системами ЭМП являются основными технологическими элементами литейных установок и разрабатываются в двух вариантах: со сливом металла за счет наклона тигля, т.е. по традиционной для литейного производства схеме разлива, и через сливное отверстие в днище тигля. Вероятно, для получения трубных заготовок более предпочтительным является тигель с донным сливом расплава, который рассматривается как основной. Схема тигля с донным сливом расплава приведена на рис.8.

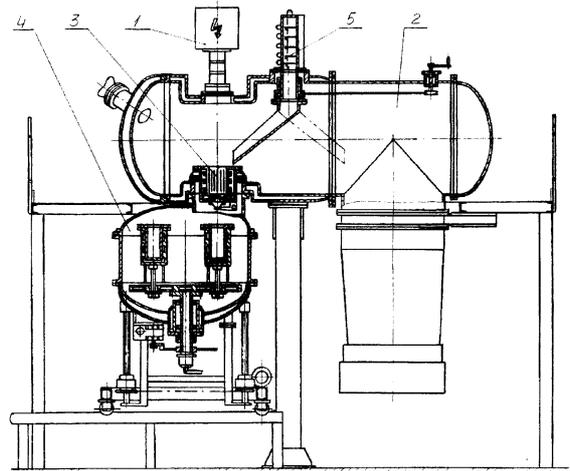


Рис.7. Схема промышленной электронно-лучевой литейной установки: 1 - электронно-лучевая пушка; 2 - вакуумная камера; 3 - гарнисажный тигель с системой ЭМП и донным сливом расплава; 4 - камера литейных форм; 5 - механизм загрузки шихты в тигель

Преимуществом донного слива является возможность обогрева расплава в форме электронным лучом, что особенно важно при получении трубных заготовок стационарным методом литья.

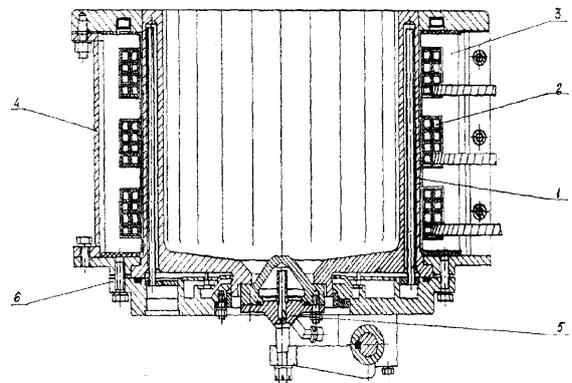


Рис. 8. Схема тигля с системой ЭМП и донным сливом расплава: 1 - боковая стенка плавильной емкости; 2 - катушка системы ЭМП; 3 - магнитопровод; 4 - кожух; 5 - крышка сливного отверстия; 6 - днище плавильной емкости

В настоящее время разработаны, изготовлены и проверены в условиях эксплуатации тигли со сливом 40, 60 и 150 кг расплава. Относительно электропитания систем ЭМП тиглей отметим, что во всех случаях предусматривается обеспечивать питание токами промышленной частоты при напряжениях порядка 20...30 В и силе тока 1000...1500 А.

Электронно-лучевая пушка для гарнисажной плавки с ЭМП разработана с учетом особенностей ее работы при размещении непосредственно над тиглем. В принципе это обычная аксиальная пушка, у которой усилено охлаждение узла катода. В случае плавки циркония и его сплавов предусматривается использовать только двухстадийную систему откачки газов (из зоны катода и промежуточной зоны). В настоящее время пушка изготовлена и прошла опробование в реальных условиях эксплуатации.

Кристаллизатор с системой ЭМП для выплавки слитков разрабатывается применительно к проведению исследований по наложению электромагнитных полей при переплаве циркония в экспериментальной установке ФТИМС. Диаметр кристаллизатора составляет 250 мм. Система ЭМП представляет собой двухкатушечное устройство, электропитание катушек осуществляется аналогично питанию катушек систем ЭМП тиглей. В настоящее время собственно кристаллизатор находится в стадии изготовления, а экспериментальная установка оснащается необходимыми механизмами для проведения переплава заготовок циркония.

Эксперименты планируется начать в конце текущего года, и в случае получения положительного результата предполагается немедленно приступить к разработке конструкции кристаллизатора с системой ЭМП для промышленной рафинировочной установки. Центробежное устройство, которое используется в настоящее время на установке ФТИМС для получения трубных заготовок (см. рис. 4), является чисто экспериментальным приспособлением и предназначено только для отработки параметров технологического процесса на стадии исследований. Для промышленных литейных установок предполагается разработать другие устройства, у которых предусматривается возможность автоматического извлечения залитой

заготовки из формы без разгерметизации агрегата. Собственно металлическую форму предполагается выполнить водоохлаждаемой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время ведутся технологические и конструкторские работы практически по всему комплексу вопросов, решение которых необходимо для создания отечественного производства трубных заготовок из циркониевых сплавов. Согласно предварительной оценке для выполнения намечаемой программы производства трубных заготовок необходимо иметь два рафинировочных агрегата и три литейных. По нашему мнению изготовление этих установок следует проводить на отечественных машиностроительных предприятиях, которые имеют достаточный опыт и технические возможности для решения поставленной задачи. По существу в Украине по состоянию на сегодняшний день не изготавливаются только высоковольтные источники питания электронно-лучевых пушек и вакуумные насосы. Однако к разработке промышленного варианта высоковольтных источников питания готов и может взяться за их практическое изготовление УкрНИИ "Преобразователь" (г. Запорожье). Это будет стоить дешевле, чем, например, покупать подобное оборудование в ФРГ, которое обойдется по цене не менее 500 тыс. долларов США за один источник мощностью 300 кВт (вместе с пушкой и системой управления электронным лучом). Проверку работоспособности опытного образца такого источника можно провести на установке ФТИМС в реальных условиях плавки циркония при различных режимах проведения процесса.

Таким образом, не решенным остается вопрос о приобретении вакуумных насосов, которые, эта проблема может быть решена без внешних закупок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ульянов В.Л. Электронно-лучевая гарнисажная плавка при получении фасонных отливок// Литейн. пр-во.,1972, №10, с. 10-13.

2. Микельсон А.Э., Панасюк Л.С., Слюсарев Н.М и др Экспериментальное исследование эффективности циркуляции расплава в автотиглях при наложении электромагнитных

полей// Автоматизация процес-сов литья. - Киев: ИПЛ АН УССР, 1983, с. 46-51.

3. Gibbins P.C., Rawso G.D. Electromagnetic stirring at BCS Rotherham Works // Steel Times, 1985, 213, '6, p. 284 - 287.

4. Ефимов В.А. Новые технологии и оборудование литейного производства, разработанные Институтом проблем литья АН УССР. Киев: ИПЛ АН УССР, 1983, 30с.