



УДК 669. 187. 58. 001.5

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЖАРОСТОЙКИХ ПИТАТЕЛЕЙ ДЛЯ БАЗАЛЬТОВОГО ЛИТЬЯ

**Ю. В. Латаш, В. Н. Коледа, Г. Ф. Торхов, А. В. Лихобаба,
В. П. Сергеев, Г. Ф. Горбачев**

Разработана плазменно-дуговая технология получения комбинированных питателей с неразъемными соединениями из разнородных сплавов для базальтового литья. Данная технология позволяет использовать недеформируемые высокохромистые сплавы с повышенными рабочими характеристиками. Изучено влияние химического состава высокохромистых жаростойких сплавов на угол смачивания их поверхности жидким базальтом и выбран оптимальный сплав. Натурные испытания комбинированных питателей показали их более высокую работоспособность по сравнению с цельнолитыми и сварными питателями.

Plasma-arc technology of producing feeders with permanent joints from dissimilar alloys for the basalt casting was developed. This technology makes it possible to use the non-deformable high-chromium alloys with high operating characteristics. The effect of chemical composition of high-chromium heat-resistant alloys on the angle of wetting of their surface with a molten basalt was examined and an optimum alloy was selected. The full-scale tests of combined feeders showed their higher serviceability as compared with the all-cast and welded feeders.

Ключевые слова: комбинированные питатели; неразъемные соединения; плазменно-дуговой переплав; жаростойкий сплав

В настоящее время получило широкое распространение промышленное производство базальтовых волокон и материалов на их основе, где в качестве исходного однокомпонентного сырья используются горные породы — базальты [1]. Однако необходимость применения для вытяжки волокон многофильных платиновых питателей в интервале температур 1250...1350 °С значительно повышает себестоимость готовой продукции.

В последние годы ведутся работы по замене платиновых питателей на питатели из железохромистых жаростойких сплавов. Такие питатели обычно применяются при получении базальтовой ваты путем раздува жидкой струи базальта воздушными форсунками. Питатели изготавливают как цельнолитыми, так и путем приварки токоподводов к катаной или литой пластине. Оба способа изготовления имеют недостатки. В цельнолитом питателе возможно образование раковины внутри металла, что приводит к его разрушению при нагреве электротоком, а в сварном варианте скрытые дефекты в виде раковин, непроваров, шлаковых

включений, пор, расположенных в месте сварки, резко снижают работоспособность питателя. Даже в случае соблюдения всех необходимых термических условий (предварительный подогрев и охлаждение в печи по заданному режиму) может наблюдаться растрескивание металла во время сварки или в процессе эксплуатации питателя.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработана технология получения заготовок комбинированных деталей методом последовательного плазменно-дугового переплава шихты на холодном поду с одновременным вплавлением в получаемую заготовку технологических деталей. Данная технология позволяет получать как биметаллические изделия, так и изделия из однородного материала сложной конфигурации, использовать металлические отходы как в качестве шихтовых материалов, так и в качестве технологических вставок. При этом может быть значительно расширен сортамент применяемых металлов и сплавов, особенно когда это материалы труднодеформируемые или имеют плохую свариваемость. Примером применения данной технологии может служить получение заготовок радиаторов из отходов алюминиевых пластин, биметаллических заготовок режущего инструмента,

© Ю. В. ЛАТАШ, В. Н. КОЛЕДА, Г. Ф. ТОРХОВ, А. В. ЛИХОБАБА, В. П. СЕРГЕЕВ, Г. Ф. ГОРБАЧЕВ, 2001



сельскохозяйственного инструмента, зубьев ковшей и т. д. [2–5].

Одним из наиболее перспективных направлений использования такой технологии является производство комбинированных жаростойких питателей для базальтового литья. Для получения питателей способом плазменно-дугового переплава спроектирована и изготовлена медная водоохлаждаемая оснастка, которая была размещена на существующей установке ОБ-1957 ИЭС им. Е. О. Патона. Установка включает плавильную камеру, внутри которой расположена подвижная тележка с оснасткой, и группу плазмотронов, установленных над тележкой. Для питания плазмотронов ПД-110 использовали трансформатор А-1458 в комплекте с выпрямительным блоком А-1557.

Принципиальная схема оснастки и процесса получения питателя приведена на рис. 1. Питатель состоит из плоской рабочей пластины, в которой нарезаются фильеры, крепежных пластин и токоподводов. Для получения питателя в медный кристаллизатор помещают предварительно изготовленные токоподводы и крепежные пластины из нержавеющей стали марки X18Н9Т, засыпают слой шихты из жаростойкого материала. Затем подвижную тележку с оснасткой перемещают под плазмотрон, вакуумируют камеру, заполняют ее аргоном и производят расплавление шихты плазмотроном, совершающим поперечные колебания. Амплитуду колебаний плазмотрона подбирают таким образом, чтобы обеспечить получение необходимой ширины рабочей пластины питателя.

В начале процесса, в одном из крайних положений кристаллизатора, наводят металлическую ванну на всю ширину слоя шихты, выдерживают ее в течение нескольких минут, после чего начинают перемещать до полного расплавления шихты. При перемещении жидкой ванны происходит частичное подплавление крепежных пластин и выступающих из оснастки токоподводов. После кристаллизации крепежные пластины и токоподводы монолитно вплавлены в заготовку из жаростойкого металла.

Нижняя часть заготовки имеет ровную поверхность и практически не нуждается в дополнительной обработке. Верхнюю часть заготовки строгают до заданной толщины, что обеспечивает равномерное сечение жаростойкой пластины по всей длине. Полученный таким образом питатель имеет высокую работоспособность благодаря отсутствию дефектов в виде непроваров, шлаковых включений, пор, трещин и т. д. (рис. 2). Описанный способ позволяет регулировать как ориентацию кристаллов, так и их размер в зависимости от химического состава металла и технологических факторов плавки.

Питатели, полученные таким способом, не требуют дополнительной деформации, что позволяет существенно расширить сортамент применяемых рабочих сплавов (наиболее жаростойкие сплавы недеформируемы), при этом, в отличие от литья, достигается значительная экономия дорогостояще-

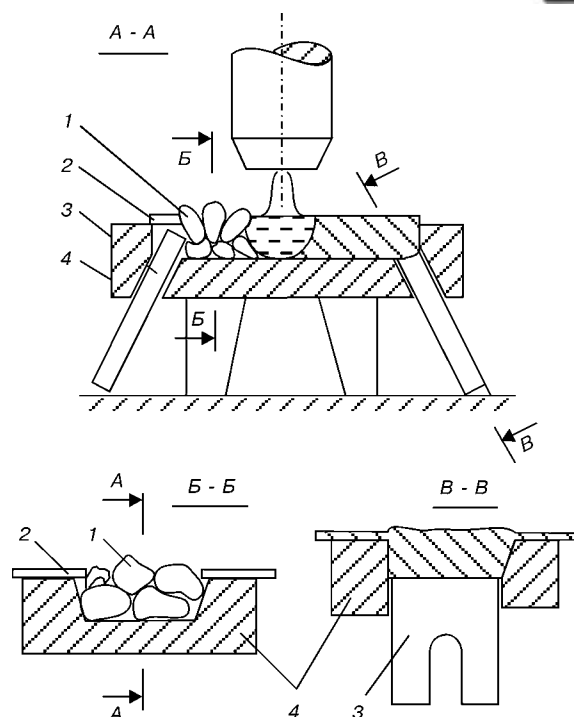


Рис. 1. Технологическая схема получения комбинированного питателя способом плазменно-дугового переплава: 1 – шихта; 2 – крепежная пластина; 3 – токосъем; 4 – кристаллизатор

го материала, так как токосъемы и крепежные части питателя выполняются из более дешевого, но более соответствующего назначению металла.

В рамках данных исследований была проведена работа по оптимизации химического состава жаростойкого сплава. Предварительные исследования стандартных жаростойких сталей и сплавов, рекомендованных для изготовления жаростойких питателей [6–9], показали, что железохромистый сплав с содержанием хрома до 35 % имеет более высокие показатели как по окислостойкости, так и стойкости в зоне контакта с жидким базальтом.

Данный сплав был выбран в качестве основы для дальнейших исследований влияния активных легирующих элементов на угол смачивания α образцов жидким базальтом, который характеризует длительную высокотемпературную стойкость питателей.

Образцы железохромистого сплава с содержанием 35 % Cr, дополнительно легированного алюминием, цирконием, титаном, кремнием в пределах 1...5 %, выплавляли в открытой плазменно-дуговой камере

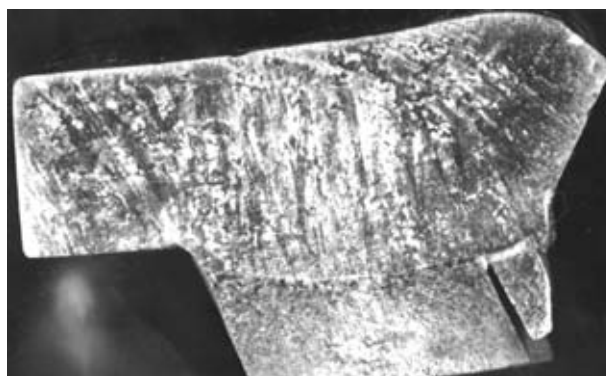


Рис. 2. Макрошлиф неразъемного соединения питателя



Рис. 3. Камера открытого типа с дуговым плазмотроном

(рис. 3), позволяющей значительно снизить расход защитного и плазмообразующего газов и уменьшить трудоемкость и время получения образца.

Камеру с плазмотроном устанавливали на медную водоохлаждаемую оснастку с конусообразной лункой, в которую предварительно засыпали шихтовые материалы заданного состава. Перед плавкой камеру продували аргоном в течение одной минуты при его расходе $1 \text{ м}^3/\text{ч}$, затем включали плазмотрон, снижали расход аргона до $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и задавали режим плавки: сила тока дуги 500 А, на-

α , град.

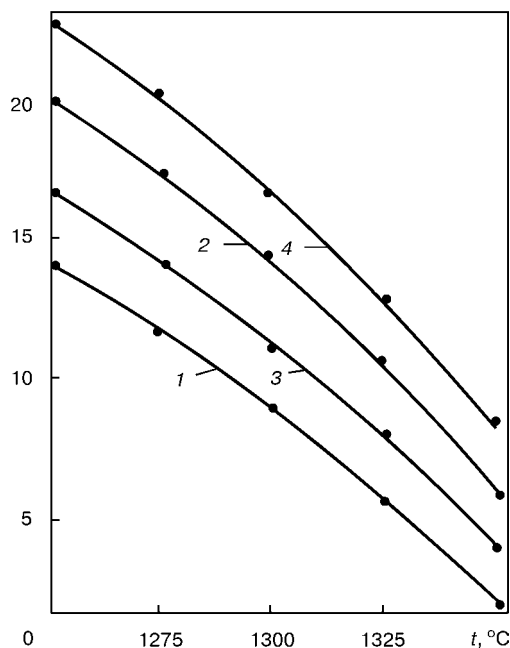


Рис. 4. Зависимость угла смачивания железохромистых (35 % Cr) сплавов базальтом от температуры при дополнительном легировании алюминием и кремнием: 1 – 3 % Si; 2 – 5 % Al; 3 – 1 % Si, 1 % Al; 4 – 3 % Si, 3 % Al

пряжение на дуге 40 В. Плавку вели в течение трех минут, после чего плазмотрон выключали, а камеру дополнительно продували аргоном в течение одной минуты при его расходе $0,1... 0,22 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для измерения угла смачивания жаростойкого сплава жидким базальтом на зачищенную поверхность образца помещали таблетку базальта и нагревали образец в лабораторной печи до температуры $1250... 1350 \text{ }^\circ\text{C}$. Угол смачивания измеряли через каждые $25 \text{ }^\circ\text{C}$, образцы выдерживали при температуре испытания 30 мин. Проведенные исследования показали, что уменьшение угла смачивания жидким базальтом поверхности сплава наблюдается на всех образцах с увеличением температуры испытаний (рис. 4). Основное влияние на угол смачивания образцов жидким базальтом оказывает содержание алюминия и кремния.

Алюминий сильнее влияет на изменение угла смачивания образцов жидким базальтом, чем кремний. При этом оптимальные параметры можно получить при совместном легировании этими элементами.

Для проведения натуральных испытаний была изготовлена партия комбинированных жаростойких питателей для базальтового литья. Материалом рабочей пластины питателя служил жаростойкий сплав на основе железа, содержащий 35 % Cr, 3... 5 % Al, 3... 4 % Si. Вплавляемые в получаемую заготовку токоподводы и крепежные пластины изготовлены из нержавеющей стали марки X18H9.

Оптимальные режимы плавки, позволяющие получать качественную заготовку с неразъемными соединениями без дефектов, следующие: сила тока дуги $800... 850 \text{ А}$, напряжение на дуге $40... 45 \text{ В}$, скорость плавки $7... 7,5 \text{ мм}/\text{мин}$, амплитуда колебаний плазмотрона 40 мм.

Для выбора оптимальной конструкции питателя изменяли геометрические размеры его составных частей. Дефектов в рабочей пластине и неразъемных соединениях обнаружено не было. После механической обработки образцы комбинированных питателей переданы в НИЛБВ ИПМ НАН Украины для проведения совместных натуральных испытаний.

Испытания проводили на газовой печи для плавки базальта. Струю жидкого базальта, вытекающую через питатель, раздували сжатым воздухом

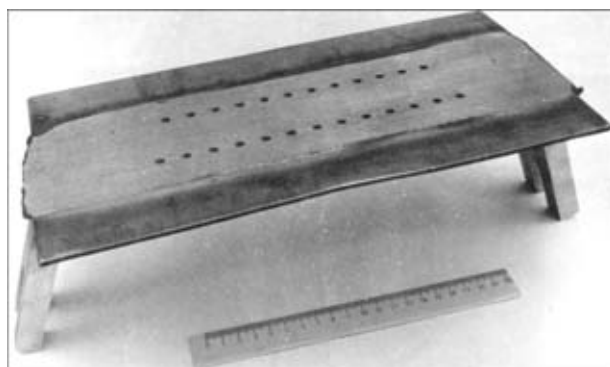


Рис. 5. Внешний вид комбинированного жаростойкого питателя с неразъемными соединениями



с целью получения тонких штапельных базальтовых волокон [8]. Электрический подогрев осуществляли от трансформатора ТГ-75. Рабочая температура питателя составляла 1250...1350 °С, время выведения питателя на рабочую температуру — 1 ч. Фиксировали температуры питателя, струи базальта, время до разрушения, место разрушения, поведение струи базальта.

На основании проведенных испытаний были выбраны следующие геометрические параметры питателей: длина рабочей пластины 300 мм, ширина — 55 мм, толщина — 10 мм, толщина токоподводов не менее 17 мм (рис. 5). Работоспособность таких питателей при рабочей температуре 1250...1350 °С составляет около 20 суток. Стойкость сварных и литых питателей не превышает 15 суток.

Проведенная работа показала возможность получения комбинированных питателей, качество которых выше, чем цельнолитых или сварных, благодаря отсутствию литейных и сварных дефектов и использованию жаростойких сплавов с повышенными рабочими характеристиками. Данная технология может применяться для получения других комбинированных изделий с неразъемными соединениями, особенно из недеформируемых сплавов с неудовлетворительной свариваемостью.

Выводы

1. Разработана технология получения комбинированных питателей с неразъемными соединениями методом последовательного плазменно-дугового переплава шихты на холодном поду с одновременным вплавлением в получаемую заготовку технологических деталей.

2. Установлена зависимость угла смачивания поверхности сплава жидким базальтом от температуры испытания и содержания алюминия и кремния. Выбран оптимальный состав сплава на основе железа, содержащий 35...37% Cr, 3...5% Al, 3...4% Si.

3. Проведенные натурные испытания партий комбинированных питателей с оптимальным химическим составом рабочей пластины показали, что их стойкость составляет около 20 суток, в то время как стойкость сварных и литых питателей не превышает 15 суток.

1. *Базальтоволокнистые материалы* / Под ред. Г. М. Матвеева. — М.: Металлургия, 1989. — 72 с.
2. *Наплавка. Опыт и эффективность применения* / Под ред. П. В. Гладкого. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — 108 с.
3. *Чалыбыва Х. Ч., Меликов В. В.* Широкоослойная наплавка. — Ташкент: Узбекистан, 1984. — 140 с.
4. *Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования* / Под ред. П. В. Гладкого. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. — 122 с.
5. *Горпенюк Н. А., Горпенюк Б. Н., Горпенюк М. Н.* Наплавка режущего инструмента безвольфрамовой быстрорежущей сталью // Сварочное производство. — 1991. — № 3. — С. 28–29.
6. *Гудремон Э.* Специальные стали / Пер. с нем. Т. 1. — М.: Металлургия, 1964. — 684 с.
7. *Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г.* Специальные стали. — М.: Металлургия, 1985. — 408 с.
8. *Сентяков Б. А., Тимофеев Л. В., Шахрозинев Ф. Ф.* Базальтовое волокно. — Ижевск: ИГУ, 1995. — 45 с.
9. *Гаврилюк В. П.* Исследование и разработка литых высокохромистых сплавов для работы в расплаве олова: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1975. — 45 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
НИЛБВ Ин-та проблем материаловедения НАН Украины, Киев
Поступила 21.03.2001