

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЗОННОЙ ПЛАВКИ

При очистке материалов от примесей иногда применяется зонная плавка, схема которой представлена на рис. 1, а. В графитовую или кварцевую лодочку 1, находящуюся в кварцевой трубе 2 установки, загружается исходная шихта. Шихта расплавляется на небольшом участке с помощью нагревателя сопротивления или высокочастотного индуктора 3, который медленно перемещается вдоль лодочки. Позади расплавленной зоны затвердевший металл оказывается более чистым, чем в самой зоне. Для лучшей очистки такие проходы повторяются несколько раз.

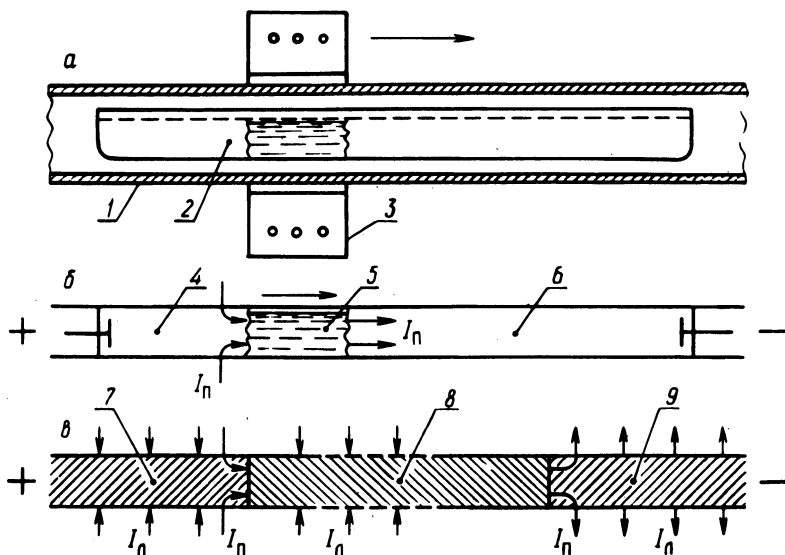


Рис. 1. Схемы, поясняющие различные методы зонной плавки.

Большой интерес представляет следующий вариант этого процесса: после расплавления начальной зоны вдоль лодочки пропускается постоянный электрический ток. Жидкий и твердый металлы обладают неодинаковыми термоэлектрическими свойствами, в результате на одной границе их контакта – на фронте плавления – выделяется тепло Пельтье I_n , а на второй границе – фронте затвердевания – поглощается (рис. 1, б). Благодаря

этому расплавленная зона поддерживается в жидком состоянии и перемещается вдоль лодочки без участия нагревателя.

Процесс зонной плавки по второму варианту существенно интенсифицируется, если помимо теплоты Пельтье используется также теплота линейного термоэлектрического эффекта. Известно, что поток тепла Пельтье в спае [1, 2]

$$I_{\text{п}} = \Pi I_{\psi} \text{ Вт,} \quad (1)$$

где Π - коэффициент Пельтье, В; I_{ψ} - сила электрического тока, А. Поток тепла в линейном эффекте

$$I_{\text{л}} = V \Delta T I_{\psi}^3 \text{ Вт,}$$

где V - коэффициент пропорциональности, В/(град·а²); ΔT - разность температур вдоль проводника, град.

Как видим, тепло Пельтье пропорционально силе тока в первой степени, а линейное тепло - в кубе. (Джоулевы потери пропорциональны квадрату силы тока). Это значит, что при достаточно больших силах тока линейный эффект начинает превалировать над эффектом Пельтье (и Джоуля). Нужные положительные и отрицательные разности температур ΔT вдоль твердых (4 и 6) и жидкого (5) участков проводника обеспечиваются благодаря постоянству температуры на фронтах плавления и затвердевания и наличию некоторого перегрева у жидкого металла и пониженной температуры у твердого на концах лодочки. В результате вдоль одной половины жидкой зоны линейная теплота поглощается, а вдоль другой - выделяется. То же самое происходит на твердых участках проводника 4 и 6.

Одновременно вдоль проводника возникает дополнительная линейная э.д.с. $\delta \varphi_{\text{л}}$, величина которой вычисляется по формуле (2).

Имеем

$$\delta \varphi_{\text{л}} = \frac{T_{\text{л}}}{I_{\psi}} = V \Delta T I_{\psi}^2, \text{ В.} \quad (3)$$

В общем случае эта э.д.с. может компенсировать и даже превысить джоулевы потери вдоль проводника за счет подводимой к лодочке теплоты в эффектах линейном и Пельтье. Более наглядно все это можно пояснить с помощью рис. 1, в, где отсутствует жидкая зона. Если в некоторый основной проводник 7 и 9 врезать один или несколько вспомогательных участков 8 из соответствующих других материалов, то при пропускании тока поглощаемая в первом спае теплота Пельтье пони-

зит его температуру и таким образом создаст нужную начальную разность температур ΔT . Вдоль участка 7 линейная теплота будет поглощаться, вдоль участка 8 — тоже, для чего материал 8 должен иметь противоположный по сравнению с основным материалом 7 и 9 знак коэффициента B (соответствующие экспериментальные значения коэффициента B и возникающих разностей температур и э.д.с. для различных материалов приведены в работах [1...3], например, основной проводник может быть изготовлен из меди или алюминия, а вспомогательный — из железа и т.д.). В результате участки 7 и 8 весьма существенно охладятся и при очень больших силах тока (порядка нескольких тысяч ампер) джоулевы потери окажутся скомпенсированными и даже превышенными. Эффект выделения тепла во втором спае и на участке 9 сравнительно невелик.

Помимо зонной плавки обсуждаемую схему можно применить, например, в линиях электропередачи с постоянным током, а также в охлаждающих, отопительных, нагревательных и других устройствах. Во всех случаях взаимное влияние потоков теплоты, электричества и массы основного металла и примесей рассчитывается по законам термодинамики необратимых процессов.

Интересно отметить, что при очень больших силах тока, порядка многих тысяч ампер, в обычной термоэлектрической паре возникает самоподдерживающийся процесс циркуляции электрического заряда и теплоты, причем необходимая разность температур между спаями автоматически устанавливается благодаря действию эффектов Пельтье и линейного термоэлектрического тока.

Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.И. Кокиль. Минск, 1972. 2. Вейник А.И. Термодинамическая пара. Минск, 1973. 3. Вейник А.И., Марков Г.В. Комплексное определение термофизических свойств литейных металлов и сплавов. Настоящий сборник.