

УДК 669.187.58

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА СЛИТКОВ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ТЕРМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ИХ КАЧЕСТВО И ХИМИЧЕСКУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ

А. П. Жудра, В. И. Дзыкович

Рассмотрены два различных способа производства слитков карбидов вольфрама для термоцентробежного распыления. Приведены режимы выплавки. Исследовано качество слитков в зависимости от способа получения. С помощью микрорентгенспектрального анализа изучено содержание примесей в полученных слитках.

Two different methods of manufacture of tungsten carbide ingots for thermo-centrifugal spraying were considered. The melting conditions are given. The quality of ingots depending on method of producing was investigated. Using X-ray spectral micro-analysis, the content of impurities in produced ingots was studied.

Ключевые слова: карбиды вольфрама; печь электро-сопротивления Таммана; индукционные печи нагрева; графитовая лодочка; литник; дефекты литья; микрорентгенспектральный анализ; термоцентробежный способ распыления

По разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона технологии производство плавных карбидов вольфрама в сферических гранулах способом термоцентробежного распыления осуществляется в два этапа. Первоначально выплавляются цилиндрические слитки эвтектического состава $WC-W_2C$ длиной 120..180 мм и диаметром 29...30 мм. Затем с использованием плазменно-дугового переплава в защитных газах слитки распыляют при вращении с большой скоростью на специализированном оборудовании. Следует отметить, что от качества слитков в значительной степени зависит течение технологического процесса распыления, качество получаемых гранул и количество отходов. Поэтому качеству слитков производители плавного сферического карбида вольфрама должны уделять большое внимание.

Как правило, для получения слитков литых карбидов вольфрама используют технологию выплавки в электронагревательных печах Таммана [1, 2]. Печи, в которых в качестве нагревателя применяют графитовую трубу, позволяют получать температуру рабочей зоны до 3100...3200 °С. Защита зоны плавления осуществляется за счет образования в ней углеводородной смеси.

В общем случае шихту, содержащую порошок вольфрама, углеродосодержащий компонент (графитовый порошок, сажа или древесный уголь) и измельченные отходы плавных карбидов вольфрама $WC-W_2C$ засыпают в лодочку (1,5...2,0 кг), открытый конец которой вставляют в литник. Лодочку вместе с литником подают в печь, разогретую до требуемой температуры. Контроль за достижением температуры производится визуально путем наблюдения за излучением трубчатого нагревателя. Излучение должно быть светло-зеленого цвета на белом фоне.

Нагрев и плавление компонентов шихты продолжается до образования гладкой поверхности расплава, который выдерживается в таком состоянии 5...7 с, после чего оператор наклоняет печь под углом $\alpha = 45^\circ$, расплав стекает в литник. Лодочка вместе с литником попадает в холодильник, где сплав кристаллизуется. Поскольку готовность материала и момент его слива в литник оператор определяет визуально, качество полученных слитков во многом зависит от его квалификации.

После остывания оператор извлекает слиток из литника и проверяет его геометрические размеры (длину, диаметр), а также наличие пор, трещин, усадочных раковин. Схема процесса выплавки в печи электросопротивления показана на рис. 1, внешний вид полученных слитков — на рис. 2.

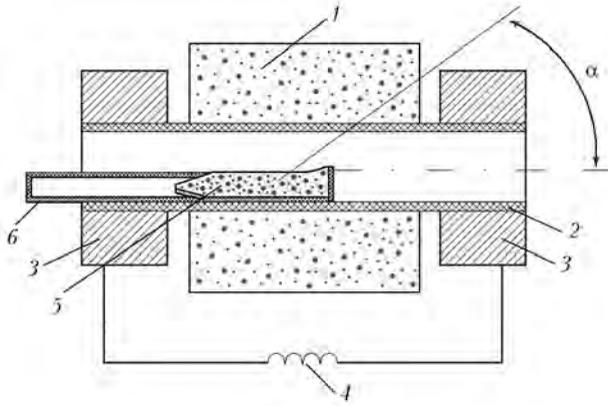


Рис. 1. Схема выплавки слитков WC-W₂C в печах электросопротивления: 1 – корпус печи; 2 – графитовая труба; 3 – токоподводы; 4 – трансформатор типа ОСУ-100; 5 – лодочка; 6 – литник



Рис. 2. Внешний вид слитков карбидов вольфрама WC-W₂C, полученных способом выплавки в печи Таммана

Основные характеристики печи электросопротивления

Внутренний диаметр нагревателя, мм	55
Длина нагревателя, мм	750
Температура активной зоны, °С	3200... 2200
Установленная мощность, кВт	100
Время плавки, мин	2... 3

Изучение особенностей технологии выплавки в печах электросопротивления и предварительные исследования слитков литых карбидов WC-W₂C позволили установить ряд следующих недостатков процесса:

в течение всего процесса выплавки необходимо постоянно контролировать расплавление объема шихты в лодочке и своевременный слив расплавленного металла в литник;

для постоянного слежения за процессом полного расплавления шихты в активную зону нагрева периодически подают поток воздуха для удаления скопившихся там газов, что приводит к выгоранию компонентов шихты, а также к интенсивному износу плавильной пары (лодочки и литника) и нагревательного элемента (графитовой трубы);

оптимальной формой слитка является цилиндрический стержень, однако существующая технология позволяет получать слитки со значительной конусностью, что обусловлено изготовлением литников с конической внутренней поверхностью для облегчения операции извлечения слитка из литника после остывания;

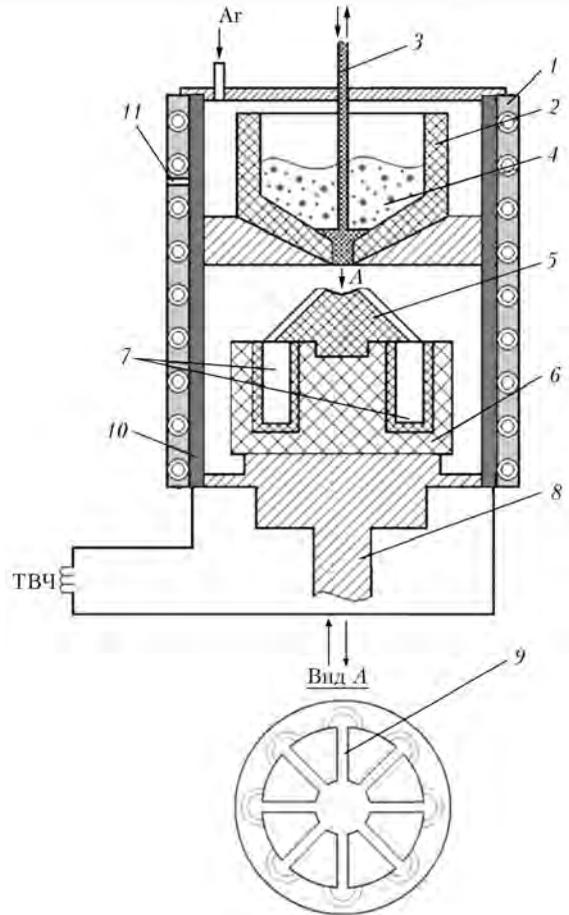


Рис. 3. Схема индукционного процесса выплавки слитков: 1 – индуктор; 2 – графитовый тигель; 3 – графитовая пробка; 4 – шихта; 5 – коническая втулка для разлива; 6 – графитовая обойма; 7 – графитовые разъемные литники; 8 – нижняя платформа; 9 – желоба для литья; 10 – футеровочная масса; 11 – смотровое окно для пиromетрического контроля температуры

постоянное участие в процессе плавки оператора приводит к нестабильности качества слитков и, как следствие, к нарушению их стехиометрического состава, что обусловлено неодинаковым временем выдержки расплава в печи и его несвоевременным сливом.

Для решения указанных проблем проведен ряд экспериментальных работ, которые значительным образом повлияли на улучшение качества слитков.

Основным отличием является применение индукционной схемы нагрева (рис. 3).

По этой технологии, разработанной совместно с сотрудниками ООО ЗУВАТ «Корд» [3], приготовленная шихта 4 засыпается в графитовый тигель 2. По достижении температуры 3100... 3200 °С, контроль которой осуществляется пирометром через смотровое окно 10, и выдержке 2... 3 мин расплав сливается из литника при помощи графитовой пробки 3. Под действием сил гравитации он попадает на коническую втулку 5 и по желобам 9 стекает в литники 7, расположенные в графитовой обойме 6, нижняя платформа опускается, обойма с литниками вынимается и помещается в холодильник для остывания. Далее литники вынимаются из обоймы и,



Рис. 4. Внешний вид слитков карбидов вольфрама, выплавленных в индукционной печи

поскольку их конструкция выполнена разъемной, готовые слитки извлекаются без особого труда.

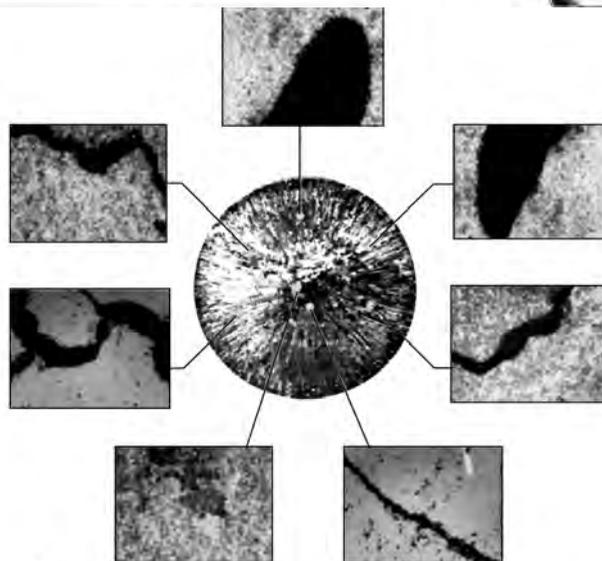
Затем литники собираются, вставляются в обойму и вместе со втулкой опять загружаются в печь. Печь готова к следующему циклу плавки. Защита активной зоны плавки осуществляется путем подачи в нее инертного газа аргона. Время полного цикла плавки составляет 20 мин. Требуемая температура достигается в результате нагрева графитового стакана 10, футерованного нитридом бора со специальными добавками ZrO_2 и других компонентов.

Очередная порция шихты загружается в тигель при помощи специального питателя, установленного в верхней части печи. Поскольку контроль над основной частью цикла (нагрев и слив жидкого расплава) происходит строго по времени, без участия оператора, возможно достижение высокой стабильности качества готового материала с четким соблюдением стехиометрического состава слитков.

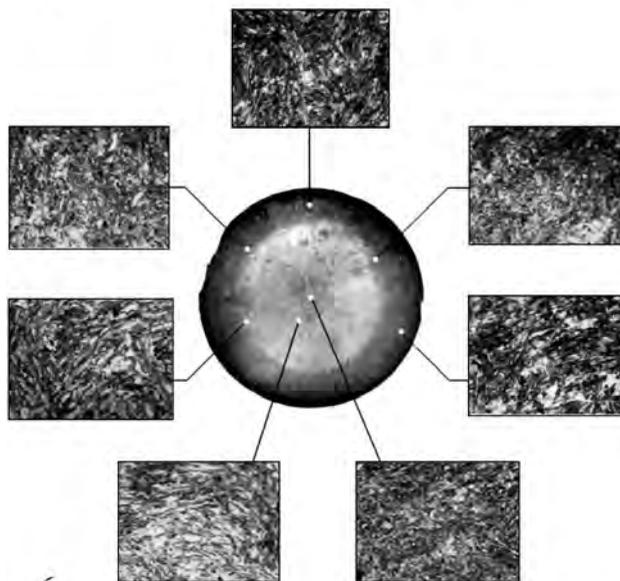
В качестве источника питания используют тиристорный преобразователь частоты ТПЧТ-120, предназначенный для питания индукционных печей вакуумной и открытой плавки, кузнечных и термических индукционных установок для нагрева и плавки черных и цветных металлов, а также для питания установок специального назначения. Тиристорный преобразователь частоты ТПЧТ-120 для вакуумной плавки применяется в комплекте с понижающим разделительным трансформатором.

Основные технические данные ТПЧТ-120

- Номинальная выходная мощность, кВт..... 120
- Номинальное выходное напряжение, В:
с разделительным трансформатором..... 400
- без разделительного трансформатора..... 700
- Номинальная рабочая частота, кГц..... 2,4
- Выходные рабочие частоты, кГц 1,0; 2,4; 4,0
- Пределы регулирования выходного напряжения от номинального, % 20... 100
- Выходной длительный ток, А:
с разделительным трансформатором..... 440±50
- без разделительного трансформатора..... 250±25



a



б

Рис. 5. Макроструктуры поперечного среза слитков и микроструктуры (X500) произвольных участков поперечного сечения при выплавке в печи Таммана (a) и в индукционной печи (б)

Массовая доля элементов, %				
Al	W	Fe	O	C
<i>В примесях</i>				
1,007	76,056	4,413	18,524	–
1,356	71,664	0,207	26,773	–
1,163	83,793	4,711	10,333	–
1,194	68,499	3,872	26,435	–
<i>В слитках</i>				
0,149	95,562	0,154	–	4,135
0,127	95,087	0,117	–	4,659
0,151	95,462	0,158	–	4,229
0,164	95,519	0,109	–	4,228

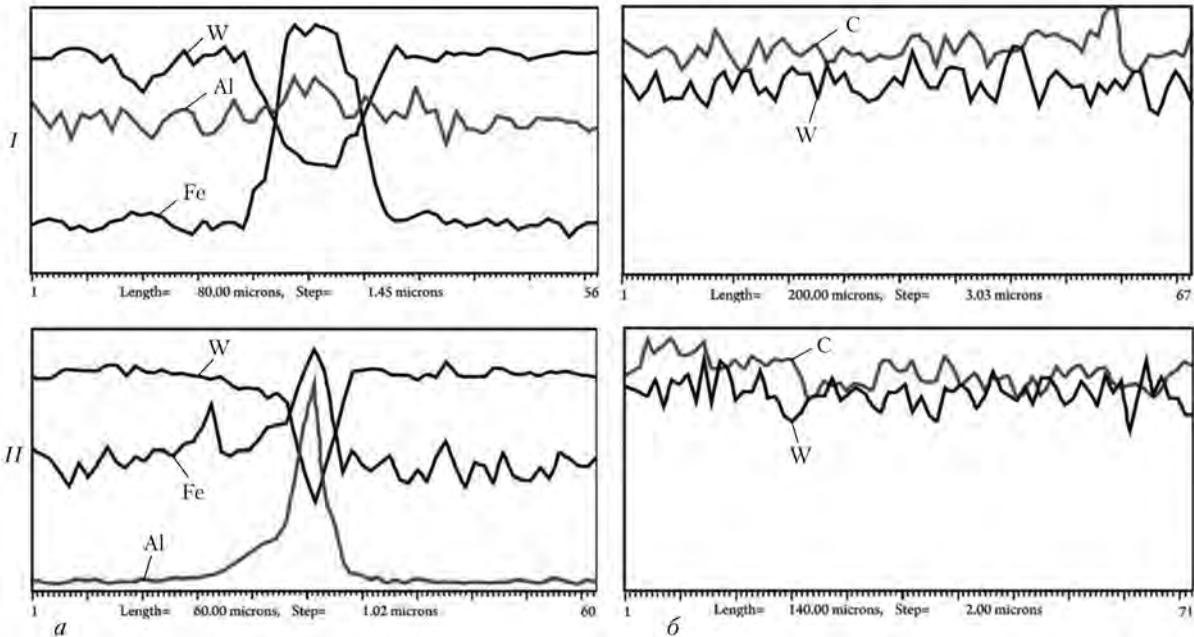


Рис. 6. Фрагменты микрорентгеноспектрального анализа слитков (I, II – участки), выплавленных в печи электросопротивления (а) и в индукционной (б)

Оптимальные режимы выплавки слитков карбидов вольфрама WC–W₂C

Входная мощность, кВт	100... 120
Время плавки, мин	15... 20
Ток выпрямителя, А	210... 280
Выходное напряжение, В	700... 720
Рабочая частота, кГц	2,2... 2,4
Загрузка шихтовых материалов, кг	15

Внешний вид слитков, выплавленных в индукционной печи, показан на рис. 4.

На рис. 5 представлены макроструктуры поперечного сечения слитков, выплавленных различными способами, и микроструктуры произвольных участков поперечного среза.

Качество слитков, полученных в печи электросопротивления, значительно уступает качеству слитков, выплавленных индукционным способом (рис. 5, а, б а). Структура слитка, выплавленного в печи электросопротивления, поражена значительным количеством трещин, пузырей, которые являются следствием неполной дегазации расплава во время плавления шихтовой смеси в лодочке и последующего слива жидкого металла в литник. Недостатком технологии выплавки в печи Таммана является скопление примесей, образующихся в составе материала слитков, что подтверждается рис. 6, а и данными микрорентгенспектрального анализа (таблица).

Об отсутствии подобных явлений при индукционном способе выплавки слитков свидетельствуют рис. 5, б и рис. 6, б, а также данные таблицы.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов разработана новая технология получения слитков плавящихся карбидов вольфрама. Вы-

сокое качество последних позволило значительно улучшить технологический процесс их расплавления, существенно снизить количество отходов, улучшить прочностные характеристики сферических гранул.

Выводы

1. Предложен новый способ выплавки слитков карбидов вольфрама для термоцентробежного распыления с использованием индукционной схемы нагрева.
2. Установлено, что слитки, полученные способом индукционной выплавки, не содержат дефектов в виде усадочных раковин и трещин и имеют однородную эвтектическую структуру, в отличие от слитков, выплавленных при использовании печей электросопротивления Таммана.
3. С помощью микрорентгенспектрального анализа установлено значительное снижение количества примесей в составе слитков, полученных индукционным способом. Это позволяет сделать вывод о повышении показателей микротвердости и однородности сфероидизированных частиц, распыленных термоцентробежным способом.

1. Киффер Р., Бенезовский Ф. Твердые сплавы / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1971. – 392 с.
2. Киффер Р., Бенезовский Ф. Твердые сплавы / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1968. – 384 с.
3. Дзыкович В. И. Исследование и разработка материалов для износостойкой наплавки на основе сфероидизированных гранул карбидов вольфрама: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 2010. – 25 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Поступила 18.06.2012