



УДК 669.187.58

АНАЛИЗ И КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ТЕРМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ СЛИТКОВ ИЗ ПЛАВЛЕННЫХ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА

А.И. Литвиненко, А.П. Жудра, А.И. Белый

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Проанализирован процесс получения порошков из стали и плавленных карбидов вольфрама со сферическими гранулами способом термоцентробежного распыления. Определены кинетические составляющие процесса, рассчитаны толщина и скорость движения жидкого металла, текущего от центра распыляемой заготовки в радиальном направлении и приведена их зависимость от угловой скорости вращения заготовки, скорости ее подачи в зону плавления и вязкости распыляемого материала. Рассмотрены различные режимы распыления слитков в зависимости от интенсивности процесса и объема жидкого металла, образующегося на торце слитка. Определена роль жидкого кольца сплава на кромке заготовки и его влияние на каплеобразование в ходе распыления. Рассмотрены особенности термоцентробежного распыления эвтектического сплава карбида вольфрама $WC + W_2C$. Отмечено существенное влияние на стабильность процесса скорости подачи заготовки в зону плазменной дуги. Установлено, что распыление в зависимости от скорости плавления заготовки может протекать в капельном, струйном или пленочном режимах. Для сплавов карбидов вольфрама предпочтительнее капельный режим распыления. Расчетным путем спрогнозированы минимальные и максимальные размеры гранул порошка в зависимости от предполагаемого режима распыления. Библиогр. 8, табл. 3, ил. 8.

Ключевые слова: термоцентробежное распыление; порошок; гранула; карбид вольфрама; плазменная дуга; каплеобразование; поверхностное натяжение

Для получения гранулированных тугоплавких материалов в настоящее время применяют способ термоцентробежного распыления, при котором используют плазменно-дуговой переплав заготовки (расходуемого стержня) в защитных газах с одновременным диспергированием расплавленного сплава (рис. 1) При этом способе торец быстровращающейся заготовки прогревается плазменной дугой, в результате чего с оплаиваемой поверхности происходит распыление металла [1].

Для лучшего понимания процесса распыления и формообразования сферических гранул необходимо исследовать все процессы, происходящие с жидким сплавом от момента его образования до кристаллизации капель. На первом этапе происходит разогрев и оплавление торца заготовки плазмотроном, генерирующим плазменную дугу прямого действия, которая для тугоплавких материалов является более эффективной в сравнении с плазменной дугой косвенного действия.

Плазменная дуга прямого действия имеет более высокие значения температуры и тепловой мощности, передает тепло не только путем конвекции и излучения, но и в результате внесения энергии свободных электронов в анодном пятне (бомбардировки) плюс дополнительный нагрев заготовки за счет

прямого прохождения сварочного тока. Скорость расплавления зависит от материала заготовки и тепловложения в нее, что в свою очередь определяется многими факторами: током и напряжением; длиной плазменной дуги; составом и расходом плазмообразующего газа; конструктивными особенностями плазмотрона и т. д. Диаметр плазменного столба у анода, а также осевое смещение плазмотрона определяют конфигурацию поверхности торца плавящейся заготовки — она может быть выпуклой или иметь кратер (рис. 2).

Для максимальной стабильности протекания процесса и обеспечения минимального разброса гранулометрического состава порошка предпочтительно расположение оплаиваемой поверхности, близкое к горизонтальному. В этом случае диаметр анодного пятна должен быть таким, чтобы перекрывать половину диаметра заготовки от ее центра до кромки. В противном случае для равномерного прогрева заготовки нужно предусмотреть радиальные колебания плазмотрона от периферии к центру. При установившемся процессе плавления торец заготовки имеет горизонтальное положение или незначительный угол наклона в зависимости от положения источника плазменной дуги.

Скорость подачи заготовки в зону дуги подбирается в соответствии с режимом и параметрами

© А.И. ЛИТВИНЕНКО, А.П. ЖУДРА, А.И. БЕЛЫЙ, 2013

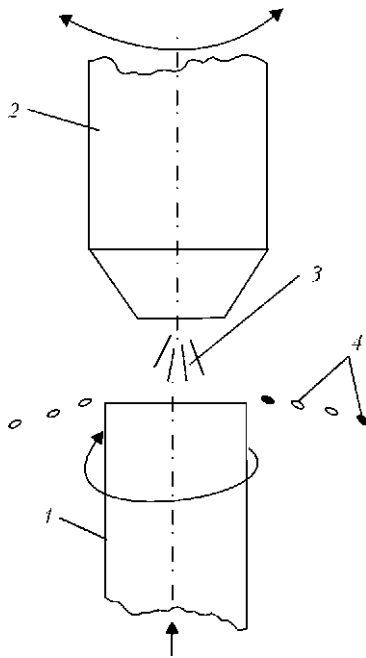


Рис. 1. Схема термоцентробежного распыления: 1 — заготовка (расходуемый стержень); 2 — плазматрон; 3 — плазменная дуга; 4 — капли жидкого металла

процесса, чтобы обеспечивать достаточную производительность, а также стабильность распыления. Если скорость подачи будет заниженной, то и выход гранулированного материала будет небольшим, а при чрезмерно большой подаче металл не успеет расплавиться, что приведет к нарушению процесса распыления. В процессе работы скорость подачи заготовки в зону плазменной дуги контролируется оператором и при необходимости корректируется.

Тонкий слой расплавленного металла под действием центробежных сил перемещается к кромке заготовки, где происходит его диспергирование (образование и отрыв капель с последующей их сфероидизацией).

Непосредственно примыкающий к твердой, еще не оплавленной, поверхности заготовки тонкий так называемый пограничный слой, пополняясь новой порцией расплавленного металла, начинает передвигаться в общем движущемся потоке. Происходит постоянная замена пограничного слоя новой пленкой жидкого металла.

Итак, ко второму этапу процесса можно отнести передвижение жидкого металла по торцу заготовки под действием объемной силы, зависящей от векто-

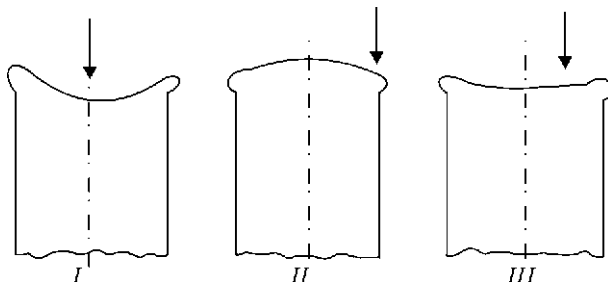


Рис. 2. Конфигурация поверхности торца в зависимости от вертикального расположения дуги: I — осевое; II — периферийное; III — промежуточное

ра центробежного ускорения. Очевидно, что в условиях установившегося режима масса жидкого металла, поступающего на кромку торца в единицу времени, зависит от скорости подачи $v_{\text{п}}$ заготовки в зону плазменной дуги при соответствующей мощности теплового источника. Эту зависимость можно представить равенством, в которое входит $v_{\text{ср}}$ течения металла:

$$\rho \pi R^2 v_{\text{п}} = 2 \pi R \rho h v_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где ρ — плотность материала заготовки, г/см³; R — радиус заготовки, см; h — толщина жидкого слоя, см; $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость течения материала, см/с.

С другой стороны, используя вязкостный фактор напряжения, можно также найти среднюю скорость течения расплавленного металла. При вращении плавящегося стержня центробежная сила F для единицы объема жидкого металла будет составлять $F = \rho W_n$, где W_n — центробежное ускорение.

Тогда уравнение относительного движения жидкого металла в направлении оси ox (рис. 3) можно представить как

$$-\rho W_n + \mu \frac{d^2 v}{dz^2} = 0, \quad \frac{d^2 v}{dz^2} = \frac{\rho \omega^2 R}{\mu}, \quad (2)$$

где ω — угловая скорость, 1/с; μ — динамический коэффициент вязкости, г/см·с.

Прежде, чем интегрировать дифференциальное уравнение (2), определим граничные условия. В области соприкосновения твердой поверхности с жидким металлом при $z = 0$, $v = 0$, а на свободной поверхности металла при толщине слоя $z = h$ получим $\frac{dv}{dz} = 0$.

Проведем двойные интегральные преобразования по формуле (2):

$$dv = \frac{\rho \omega^2 R}{\mu} \int_z^h z dz;$$

$$v = \frac{\rho \omega^2 R}{\mu} \left(\int h dz - \int z dz \right) = \frac{\rho \omega^2 R}{\mu} \frac{z}{2} (2h - z).$$

Отсюда максимальная скорость при $z = h$ будет

$$v_{\text{max}} = \frac{\rho \omega^2 R h^2}{2\mu}. \quad (3)$$

Поскольку фронт скоростей по толщине h пленки параболический, то средняя скорость составит $2/3$ максимальной скорости и будет следующей:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\rho \omega^2 R h^2}{3\mu}. \quad (4)$$

Подставляя $v_{\text{ср}}$ из формулы (4) в уравнение (1) и используя кинематический коэффициент вязкос-



Таблица 1. Толщина пленки жидкого металла в зависимости от угловой скорости вращения и подачи заготовки

n_1 , об/мин	h , мкм, при v_n , см/с				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
1000	27,0	34,0	39,0	43,0	46,0
2000	17,0	21,0	24,0	27,0	29,0
4000	10,0	13,0	15,0	16,5	18,0
6000	8,1	10,2	11,7	12,9	13,9
8000	6,7	8,4	9,7	10,6	11,5
10000	5,8	7,3	8,3	9,2	9,9

ти v , можно получить значение толщины слоя жидкого металла на торце вращающейся заготовки:

$$h = \frac{1}{\omega^{2/3}} \sqrt[3]{\frac{3v v_n}{2}} \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) видно, что изменение подачи заготовки v_n (расход Q) влияет на толщину слоя металла, движущегося в радиальном направлении, и его скорость. Причем последняя изменяется в квадратной степени быстрее, чем толщина слоя.

Следует отметить, что при одинаковых параметрах процесса (угловой скорости, скорости подачи заготовки, удельной скорости плавления) толщина жидкого металла на распыляемых заготовках различных диаметров также одинакова. Это означает, что в случае заготовки большего диаметра и ведении распыления при одинаковой удельной скорости плавления толщина жидкого металла останется прежней, как при меньшем диаметре заготовки, а расход металла увеличится за счет скорости передвижения. В связи с ростом объема и скорости жидкого металла увеличится производительность процесса.

Здесь видно отличие центробежного распыления (жидкий металл подается на вращающийся диск, с которого происходит диспергирование) от термоцентробежного (происходит плавление материала заготовки и одновременное распыление). При центробежном распылении толщина слоя жидкого металла уменьшается от центра диска к его периферии, в то время как при термоцентробежном слой жидкого металла остается постоянным и не зависит от радиуса заготовки с учетом равномерного плавления. Кроме того, особенностью термоцентробежного распыления является постоянная смена пограничного слоя.

Путем расчета определили толщину движущейся пленки при различных оборотах и скорости подачи v_n заготовки из стали. Полученные данные приведены в табл. 1. Установлены средние значения скорости $v_{ср}$ течения жидкого сплава вблизи кромки заготовки, составляющие 15... 70 см/с при подаче $v_n = 0,1$ см/с.

На основании табличных данных построены графики (рис. 4).

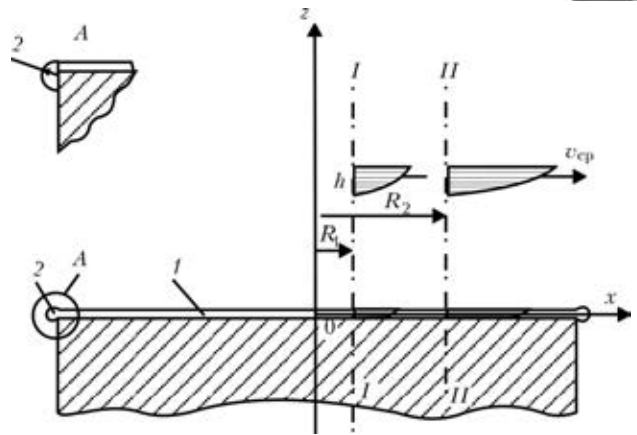


Рис. 3. Сечение расходуемой заготовки: 1 — слой жидкого металла; 2 — кольцо металла на кромке заготовки; эпюры скоростей I-I; II-II; A — кромка заготовки

Движущийся слой сплава образует на кромке заготовки кольцевую фронтальную поверхность, находящуюся под центробежным давлением:

$$P_{ц} = \frac{\rho \omega^2 R^2}{2} \quad (6)$$

Кривизна фронтальной поверхности соответствует давлению, создаваемому центробежными силами, которому противостоит поверхностное натяжение металла. Вследствие поступления металла на кромку заготовки образуется цилиндрическое кольцо радиусом r и создаются условия для каплеобразования

$$\frac{\rho \omega^2 R^2}{2} > \frac{2\sigma}{r} \quad (7)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения.

В жидких металлах, особенно в сплавах, имеющих температуру, незначительно (около 100 °С) превышающую температуру плавления, возникают

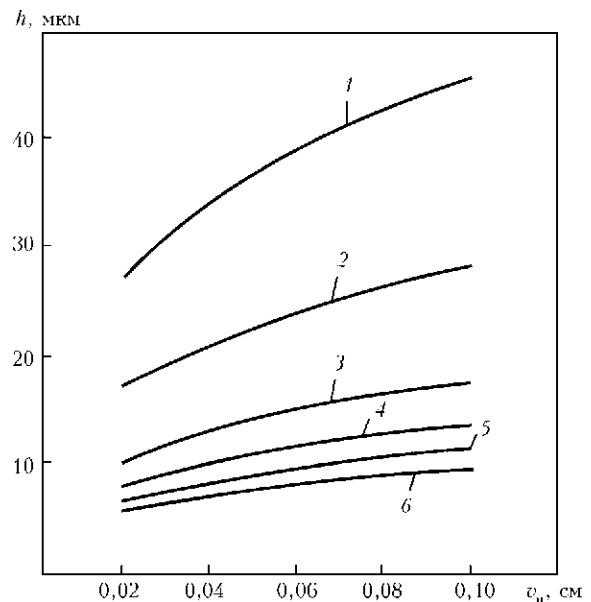


Рис. 4. Изменение толщины слоя металла h при различных значениях оборотов заготовки (1 — 1000; 2 — 2000; 3 — 4000; 4 — 6000; 5 — 8000; 6 — 10000 об/мин) и скорости подачи v_n



и исчезают микроразрывы и микрополости [2, 3]. Можно предположить, что при достаточном давлении, согласно формуле (7), возникают поверхностные флуктуации, дающие начало зарождению менисков (выпуклостей поверхности), из которых образуются капли. Образованию менисков могут также сопутствовать вибрация, наличие микровключений или газов и т. п. Мениски увеличиваются в размерах, превращаясь в устойчивые полусферы, и под действием центробежных сил, при наличии постоянного притока металла, стремятся вытянуться с образованием цилиндрической поверхности. Если представить жидкое кольцо как щелевидный капилляр, то можно в приближении принять диаметр образовавшегося цилиндрического отростка равным толщине этого виртуального капилляра или диаметру сечения кольца. Поверхностные силы стремятся минимизировать поверхностный слой, не давая цилиндрической поверхности развиваться, и пережимая ее, создают более устойчивую сферическую конфигурацию, имеющую минимально свободную поверхностную энергию (рис. 5).

Процесс формообразования капель чрезвычайно сложный, его точное описание математически представляет большие трудности. Мало изучен заключительный период формообразования и отрыва капель. Особенно сложно исследовать каплеобразование металлов с высокой температурой плавления. Если при изучении каплеобразования обычных жидкостей в условиях земного притяжения получена развернутая во времени картина процесса, то при термоцентрибежном распылении тугоплавких металлов четко заснять процесс каплеобразования пока не удается.

Прежде, чем стать сферической, капля как гогеоморфное образование изменяет свою форму под действием центробежной силы, поверхностного натяжения, плотности, влияния сопротивления газовой среды в камере установки и т. п.

Приблизительный размер диаметра капли вычисляется исходя из баланса сил натяжения — центробежного и поверхностного [4]:

$$\frac{\pi d^3}{6} \rho \omega^2 R = \pi \sigma d_m,$$

где d_m — диаметр сечения в момент отрыва капли (медианный диаметр).

Этот баланс сил подразумевает хрупкое разрушение при отрыве капли, возможное только за меньшее время, чем при релаксации атомов сплава, кроме того, не учитывается влияние вязкости сплава. Погрешность при расчете диаметра сформировавшейся сферической капли может достигать до 40 % в сравнении с диаметром гранулы, полученной экспериментальным путем.

Стабильность распыления обеспечивается установившемся равенством между объемами металла, приходящегося на кромку заготовки и металла, идущего на каплеобразование.

Предположительно, в балансе указанных объемов непосредственное участие принимает кольцо жидкого металла, которое является неким «компенсатором»; в зависимости от расхода металла кольцо уменьшается или увеличивается.

Приток металла в область кольца влияет в какой-то степени на его размеры и дополнительное давление, а значит, на интенсивность каплеобразования.

Для различных жидкостей и легкоплавких металлов определены три режима распыления в зависимости от расхода: капельный, струйный и пленочный [5].

Достаточное давление и малый расход металла позволяют вести процесс в капельном режиме, однако с возрастанием расхода жидкое кольцо, размер капель и время их образования увеличиваются.

Чрезмерное количество приходящего металла не позволяет всему его объему сформироваться и отделиться в виде самостоятельных капель, возника-

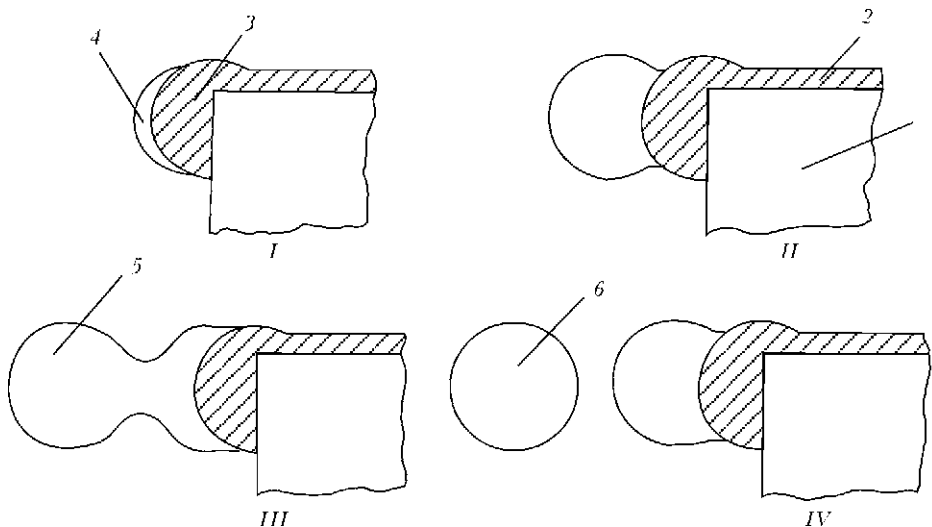


Рис. 5. Схемы каплеобразования (I–IV): 1 — заготовка; 2 — слой жидкого металла; 3 — кольцо; 4 — образующийся мениск; 5 — отрывающаяся капля; 6 — гранула



ют жидкие нити, впоследствии распадающиеся на отдельные капли. Дальнейшее увеличение расхода металла ведет к резкому росту размеров жидкого кольца и переходу распыления в пленочный режим, когда с торца заготовки сбрасывается тонкая пленка жидкости, распадающаяся на мелкие фрагменты. В этом случае, приняв сечение кольца полукруглым (рис. 3, в), можно приближенно определить его максимальный радиус, при котором оно, распадаясь, покидает заготовку:

$$r_{\max} = \frac{1,129}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho R}} \quad (8)$$

В случае распыления карбидов вольфрама, имеющих температуру плавления около 2730 °С, процесс происходит иначе.

Поддержание стабильности распыления тугоплавких материалов требует уменьшения расхода сплава, по сравнению с легкоплавкими металлами. В установившемся капельном режиме распыления релита увеличение расхода сплава приводит к образованию на кромке заготовки закристаллизовавшихся отростков, отрицательно влияющих на стабильность процесса.

В дальнейшем увеличение расхода Q приводит к пленочному режиму, однако слетающие с торца заготовки участки пленки мгновенно кристаллизуются, превращаясь в бесформенные отходы; часть сплава налипают на рабочую графитовую втулку, через которую заготовка подается к плазменной дуге (рис. 6). Поэтому с таким тугоплавким материалом, как релит, из-за его интенсивного охлаждения и повышенной вязкости работать в струйном или пленочном режиме не представляется возможным.

Сплав, покидающий торец заготовки в виде фрагментов жидкой пленки, прежде чем диспергироваться, кристаллизуется. Все это вынуждает ограничить расход жидкого сплава в определенных пределах и вести распыление в капельном режиме при скорости подачи заготовки $v_{\text{под}} = 0,1 \dots 0,3$ мм/с.

Таким образом, основным параметром, влияющим на процесс распыления и поддерживающим его стабильность, является расход $Q(v_{\text{п}})$ и связанный с ним тепловой режим плазмотрона.

Во время распыления расход жидкого сплава постоянно корректируется оператором.

Представляет интерес прогнозирование размеров частиц при определенной частоте вращения заготовки [6–8]. Предельные размеры гранул, образующихся при данных оборотах, можно найти по формулам (7) и (8).

На основании полученных расчетов построены кривые максимальных и минимальных диаметров гранул из стали для различных оборотов заготовки (рис. 7). Видно, что по мере увеличения оборотов диапазон диаметров частиц $L_p = d_{\max} \dots d_{\min}$ сужается. Гранулометрический состав распыленного порошка определяют способом ситового анализа. Зная плотность распределения гранул по массе, можно рассчитать их общее количество:

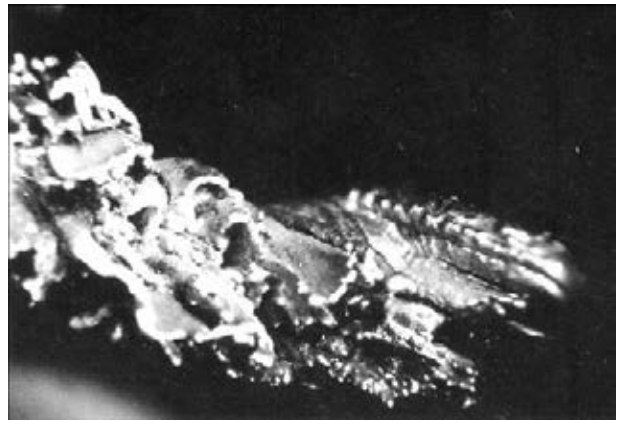


Рис. 6. Пленка сплава, слетающая с торца заготовки (пленочный режим)

$$N = \frac{6R^2 v_{\text{п}}}{100} \sum_{d_{\min}}^{d_{\max}} \frac{Q_{\Phi}}{d_{\Phi}^3}$$

где Q_{Φ} — относительное массовое количество гранул, %; d_{Φ} — средний диаметр гранулы определенной фракции.

При этом средний объем гранулы в партии составляет

$$V_{\text{ср.гр}} = \frac{V}{N} = \frac{100\pi}{d_{\max}} \sum_{d_{\min}} \frac{Q_{\Phi}}{d_{\Phi}^3}$$

где V — объем партии гранул, и окончательно средний диаметр гранул составляет

$$D_{\text{ср.гр}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{ср.гр}}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{100}{d_{\max}} \sum_{d_{\min}} \frac{Q_{\Phi}}{d_{\Phi}^3}}$$

Для сравнения реальных данных, полученных путем распыления, с расчетными выбраны литые d , мкм

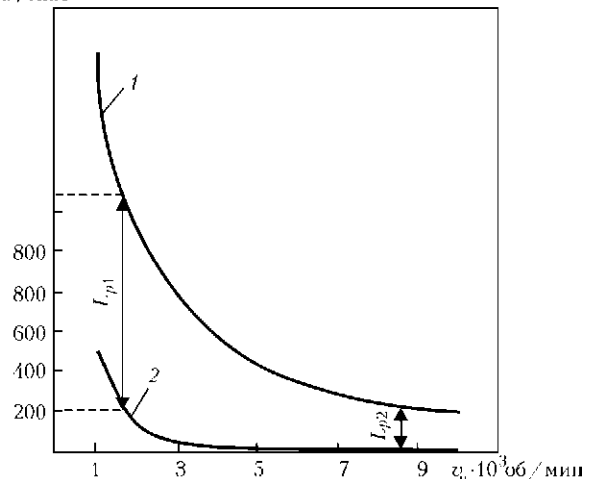


Рис. 7. Расчетные кривые максимальных (1) и минимальных (2) диаметров ($v_{\text{п}} = 0,02$ см/с)



Таблица 2. Экспериментальные данные гранулометрического состава релита

n, об/мин	Гранулометрический состав релита (%) при размерах частиц по фракциям, мм							
	1,2...1,0	1,0...0,8	0,8...0,63	0,63...0,45	0,45...0,315	0,315...0,200	0,2...0,1	<0,1
1600	10	23	43	19	5	–	–	–
8600	–	–	–	–	2	32	62	4

Примечание. В числителе указан разбег значений диаметров, в знаменателе – среднее значение.

Таблица 3. Данные расчета количества и размеров гранул

n ₁ , об/мин	Общее количество частиц	Количество частиц по фракциям, 1/с								d _{max}	d _{min}	d _{cp}
		1,2...1,0	1,0...0,8	0,8...0,63	0,63...0,45	0,45...0,315	0,315...0,200	0,2...0,1	<0,1			
1600	866	18	74	276	284	214	–	–	–	1300	200	648
8600	56950	–	–	–	–	85	4370	43100	9400	250	15	160

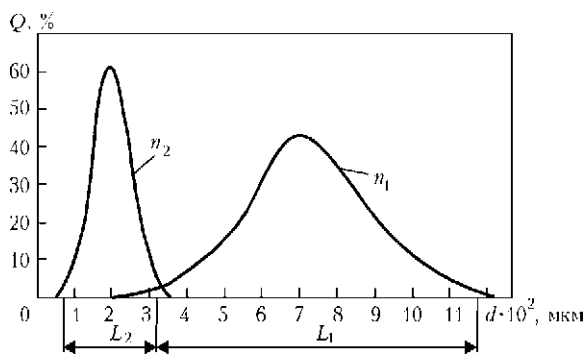


Рис. 8. Кривые плотности распределения гранул по фракциям при n₁ = 1600, n₂ = 8600 об/мин

стержни карбидов вольфрама, представляющие собой эвтектику WC–W₂C, и распылены на двух скоростях вращения (1600 и 8600 об/мин).

Данные ситового анализа приведены в табл. 2.

На основании полученных данных построены кривые плотности распределения частиц по фракциям, определены средние диаметры гранул для указанных скоростей вращения (рис. 8).

На графике видно, что диапазон L₂, охватывающий размеры частиц, получаемых при скорости заготовки в 8600 об/мин, значительно меньше, чем L₁ (1600 об/мин). Это связано с ростом центробежных сил и отмечено при рассмотрении рис. 7. Как показало сравнение, расчетные диаметры вполне соответствуют экспериментальным.

Проведены расчеты по определению размеров и количества получаемого материала при указанных оборотах заготовки (табл. 3).

Установлено, что капля среднего размера (d_{cp} = 160 мкм при 8600 об/мин) формируется и отрывается за время менее тысячной доли секунды, после чего окончательно сфероидизируется и кристаллизуется.

Значение угловой скорости является определяющим в диспергировании жидкого металла и должно быть достаточным для начала каплеобразова-

ния, т. е. соблюдено условие – радиус z кольца жидкого металла согласно формуле (7) должен быть меньше радиуса z_{max} по выражению (8).

Это можно представить неравенством

$$\frac{4\sigma}{\rho\omega^2 R^2} < \frac{1,3}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho R}}$$

откуда можно определить минимальное количество оборотов, при котором возможно распыление. Например, для релита при минимальном режиме плавления эта скорость должна составлять не менее 250 об/мин.

Выводы

1. Установлено, что максимально устойчивое протекание процесса термоцентробежного распыления с минимальным разбросом гранулометрического состава порошка происходит при горизонтальном расположении оплаиваемой поверхности, при этом диаметр столба плазменной дуги должен перекрывать половину диаметра заготовки от ее центра до кромки.

2. Определены кинетические составляющие процесса: рассчитаны толщина и скорости движения жидкого металла, текущего от центра распыляемой заготовки в радиальном направлении; их зависимость от расхода сплава и угловой скорости вращения заготовки.

3. Рассмотрены различные режимы распыления в зависимости от интенсивности процесса и объема жидкого металла на торце стержня, определено влияние на каплеобразование жидкого кольца сплава на кромке заготовки.

4. Расчетным путем установлена математическая зависимость размера частиц от режима термоцентробежного распыления, позволяющая прогнозировать гранулометрический состав получаемого порошка.



1. Жудра А.П., Литвиненко А.И. Некоторые особенности центробежного гранулирования тугоплавких соединений с использованием плазменного переплава // Спец. электротехнология. — 1989. — № 67. — С. 104–106.
2. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. — Л.: Наука, 1972. — С. 237–259.
3. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкости. — М.; Л.: Изд-во АН ССР, 1945. — С. 103–110.
4. Мусиенко В.Т. Некоторые закономерности формирования гранул при центробежном распылении вращающейся заготовки // Порошковая металлургия. — 1979. — № 8. — С. 1–7.
5. Hinze J., Milborn H. Atomization of liquids by means of a rotating cup // J. of Applied Mechanics. — 1950. — 17, № 2. — P. 145–153.
6. Математическое моделирование процесса получения сферических гранул плавленых карбидов вольфрама / В.И. Махненко, А.П. Жудра, Е.А. Великоиваненко и др. // Автомат. сварка. — 2004. — № 2. — С. 3–10.
7. Прогнозирование дисперсности гранул и их производительности при центробежном распылении сплавов / В.И. Махненко, А.П. Жудра, Е.А. Великоиваненко и др. // Там же. — 2008. — № 4. — С. 31–33.
8. Получение, структура и свойства распыленных порошков сплавов карбидов вольфрама WC + W₂C / В.М. Волкогон, С.К. Аврамчук, Д.К. Когляр и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. — Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2010. — Вып. 13. — С. 414–419.

Process of producing powders of steel and fused tungsten carbides with spherical granules by the method of thermal centrifugal spraying was analyzed. Kinetic components of the process were determined, thickness and rate of motion of liquid metal, flowing from the center of billet being sprayed in a radial direction were calculated, their dependence on angular rate of billet rotation, speed of its feeding into the zone of melting and viscosity of material being sprayed was given. Different modes of ingots spraying depending on intensity of process and volume of liquid metal, formed at the ingot end, are studied. Role of a liquid ring of alloy at billet edge and its effect on drop formation during spraying was determined. Peculiar features of thermal centrifugal spraying of eutectic alloy of tungsten carbide WC + W₂C are studied. A significant effect of billet feed speed into the plasma arc zone on stability of the process was noted. It was found that the spraying depending on billet melting speed can proceed in drop, spray or film modes. A drop mode of spraying is preferable for alloys of tungsten carbide. Using calculations, the minimum and maximum powder granules were predicted depending on preset spraying mode. Ref. 8, Tables 3, Figs. 8.

Key words: thermal centrifugal spraying; powder; granule; tungsten carbide; plasma arc; drop formation; surface tension

Поступила 06.02.2013

Ашинские металлурги благодарят НКМЗ за поставленное оборудование и профессиональную работу



25 января на Ашинском металлургическом заводе (Россия, Челябинская обл.) введена в эксплуатацию транспортная линия для передачи грузов массой до 160 т между цеховыми пролетами. Это событие стало возможным благодаря отгрузке транспортной линии с Новокраматорского машиностроительного завода (г. Краматорск Донецкой обл.) на четыре месяца раньше срока.

Главный прокатчик Ашинского металлургического завода В.В. Крюков прислал на НКМЗ благодарственное письмо.

В частности, в нем говорится: «Выражаю искреннюю благодарность руководству ПАО «НКМЗ» за проделанную работу по приближению сроков изготовления и поставки транспортной линии для передачи грузов массой до 160 т между цеховыми пролетами. Совместная работа персонала нашего предприятия и квалифицированных шеф-инженеров ПАО «НКМЗ», курировавших монтаж оборудования, разводку коммуникаций и пусконаладочные работы, позволила 25 января 2013 года подписать акт об успешном вводе оборудования транспортной линии в эксплуатацию. Пуск транспортной линии для передачи грузов массой до 160 т между пролетами позволит обеспечить быструю передачу получаемого на стане толстого листа на склад готовой продукции. Тем самым будут устранены сдерживающие факторы для повышения производительности действующего стана, а также появится возможность передачи других грузов для ведения строительных работ и в последующего монтажа нового оборудования для коренной реконструкции стана».

Пресс-служба НКМЗ
<http://www.nkmz.com>