

Проведено аналіз плакування порошкового матеріалу в процесі вакуумно-дугової металізації. За допомогою комп'ютерного моделювання були визначені раціональні параметри віброперемішування для отримання рівномірної металеві оболонки на частинках порошку

Ключові слова: вакуумна металізація, плакований порошок, віброкиплячий шар

Проведен анализ плакирования порошкового материала в процессе вакуумно-дуговой металлзации. С помощью компьютерного моделирования были определены рациональные параметры виброперемешивания для получения равномерной металлической оболочки на частичках порошка

Ключевые слова: вакуумная металлзация, плакированный порошок, виброкипящий слой

The analysis of a coating of a powder material in the course of vacuum-arc metallization is carried out. By means of computer modeling rational parameters intermixing of a powder for reception of the uniform metal shell on particles of a powder have been spotted

Key words: vacuum metallization, coated powder, vibroboiling layer

ВАКУУМНО-ДУГОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ МЕДИ НА ПОРОШОК РЕЛИТА WC- W₂C

И. А. Селиверстов

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра основ конструирования*
Контактный тел.: (0552) 32-69-39
E-mail: sia-72@yandex.ru

С. А. Русанов

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра оборудования химических производств и предприятий строительных материалов*
*Херсонский национальный технический университет
Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, Украина, 73008
Контактный тел.: (0552) 32-69-24
E-mail: ohvpbm@i.ua

И. В. Смирнов

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра инженерии поверхности
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
пр-т Перемоги, 37, г. Киев, Украина, 03056
Контактный тел.: (044) 454-92-56
E-mail: siv-68@rambler.ru

1. Введение

Для нанесения жаропрочных и износостойких покрытий широко применяются газотермические способы напыления. Преобладающее распространение газотермического напыления покрытий обусловлено его высокой производительностью и универсальностью, которая позволяет наносить металлические и керамические материалы заданного химического и фазового состава в виде покрытий значительной толщины [1]. На данное время газотермические покрытия все больше используются в таких областях как аэрокосмическая техника, двигателестроение, теплоэнергетика, ядерная энергетика, нефтяная, химическая, инструментальная промышленности и др. Это в первую очередь требует создания новых высокотемпературных материалов с комплексом повышенных физических, механических и металлургических свойств [1].

Для получения качественно новых видов покрытий используются композиционные порошки и механические смеси, которые почти полностью отвечают поставленным требованиям. Использование механических

смесей порошков ограничено по причине расслоения в потоке плазмы, неравномерном распределении в покрытии, неравномерной скорости движения и степени нагрева частиц, которые отличаются удельным весом и температурой плавления [2,3]. Поэтому приоритетное развитие получило использование композиционных порошков.

Порошки, состоящие из карбида вольфрама, как твердая фаза и металлы или сплавы, как фаза соединения, являются важными материалами для формирования износостойких покрытий.

Значительно износостойкие покрытия получают на основе порошков карбидов WC с металлическим элементом, например кобальтом. Однако при газотермическом напылении механической смеси карбидов с кобальтом возникают некоторые трудности. При охлаждении кобальт не успевает выделиться и образовать матрицу, которая связывает частицы карбидов, частицы WC + W₂C в кобальтовом покрытии распадаются и окисляются, теряя углерод через его растворение в расплавленном кобальте. Углерод потом испаряется в виде CO и CO₂. Кардинально решить проблему

удалось с использованием плакированного порошка WC + Co [4]. В данном случае кобальт защищает карбид от разложения и оказывает содействие образованию комплексного стойкого карбида Co_6W_6C .

Сегодня применение кобальта для плакирования и нанесения покрытий ограничено в связи его высокой стоимостью, поэтому нами решалась задача плакирования порошка более дешевым и доступным материалом, например некарбидообразующим металлом – медью. В качестве исходного материала использовался литой карбид вольфрама под маркой Релит, представляющий собой эвтектику WC - W₂C.

Нанесение покрытия осуществлялось методом вакуумно-дугового распыления на установке АНГА-1, испаряемые катоды изготавливали из меди марки М₀. Данный метод позволяет наносить покрытия, как на массивные объекты, так и на порошки разных фракций с высокой адгезией покрытия к обрабатываемой поверхности. Отрицательным фактором в процессе плакирования в большинстве случаев может стать высокая температура на поверхности, в результате чего частички порошка активно слипаются, образуя конгломераты. Для устранения этого недостатка и получения равномерной оболочки на каждой частице порошка используют различные устройства перемешивания [5]: а) механическое перемешивание тонкого слоя порошка, насыпанного на горизонтальную или наклонную вращающуюся поверхность, с помощью скребков, лопастей или проволочных щеток; б) механическое перемешивание во вращающихся барабанах с частичным многократным пролетом частиц; в) перемещение и перемешивание порошков с помощью вибрационных устройств [6]; г) перемешивание порошка в электромагнитном поле.

Как показывает обзор литературных данных, перемешивание порошков в виброустройствах в состоянии виброкипения реализуется наиболее просто и обеспечивает достаточную эффективность перемешивания и охлаждения [7].

Выбор параметров виброкипения в целом определяется внешними условиями, конструктивными особенностями установки, физико-механическими свойствами, прежде всего компрессионными, когезионными и адгезионными свойствами, формой частиц порошка, параметрами вибрации, а также рядом других факторов. Вопросы, связанные с подбором параметров виброкипения и изучением особенностей поведения порошкового материала в вакууме в условиях вибрации остаются трудноразрешимыми, требующими применения современных средств моделирования для прогнозирования конечного результата. В этой связи для определения параметров виброкипения которые обеспечивают оптимальные условия перемешивания для получения равномерной плакирующей оболочки, использовалась система

автоматизированного моделирования «Виброслой 1.0» [8].

2. Результаты и обсуждение полученных данных

С целью активизации процесса перемешивания порошка разработано специальное вибрационное устройство с горизонтальной вибрирующей платформой, которое размещалось внутри вакуумной камеры установки. Рассматриваемая задача является продолжением работы [6], где осуществлялся процесс плакирования порошка оксида алюминия в виброкипящем слое. В указанной работе при частоте вибрации 30 Гц и амплитуде 0,2 мм частицы порошка в достаточной степени отрывались от вибрирующей поверхности. Для карбида вольфрама указанных параметров оказывается недостаточно, что обусловлено большой плотностью материала ($\rho=15,6\text{г/см}^3$) – частицы порошка практически не отрываются от платформы (рис. 1), хотя незначительный отрыв от виброплатформы имеется (что явно видно по графику напряжений, где нулевые напряжения соответствуют фазе полета, а пики указывают на наличие ударных нагрузок от падения материала), однако такой короткой фазы полета недостаточно для интенсивного перемешивания. Кроме того, при расчете не учитывалось влияние давления плазменного потока.

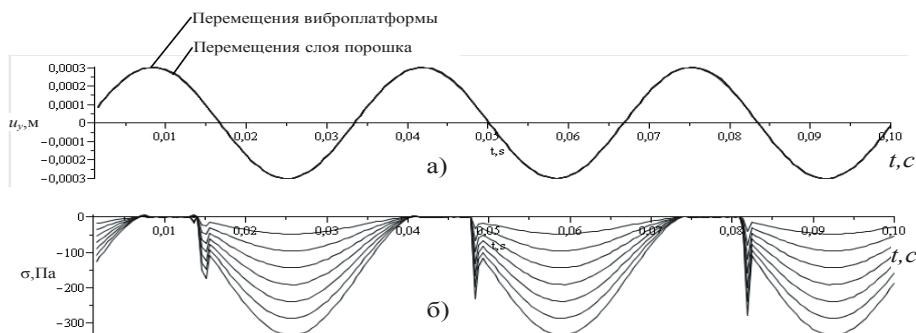


Рис. 1. Поперечные (а) перемещения слоя материала и вибрирующей поверхности, u_y – м; напряжения (б) σ – Па

Таким образом, для более тяжелых материалов требуется повышение параметра перегрузки (коэффициент режима работы) [7]

$$\Gamma = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g \cos \alpha}, \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний, м; ω – круговая частота колебаний, с^{-1} ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; α – угол наклона вибрирующей поверхности к горизонту, рад; β – угол наклона траектории колебаний относительно вибрирующей поверхности (угол вибрации), рад; что, однако, наталкивается на проблему отклика вибрирующей поверхности на ударные нагрузки от падения материала. Так, например, двукратное увеличение частоты колебаний, которое приводит как видно из формулы (1) к четырехкратному увеличению параметра перегрузки, дает пиковые ударные напряжения сжатия порядка $25 \cdot 10^3$ Па (рис. 2).

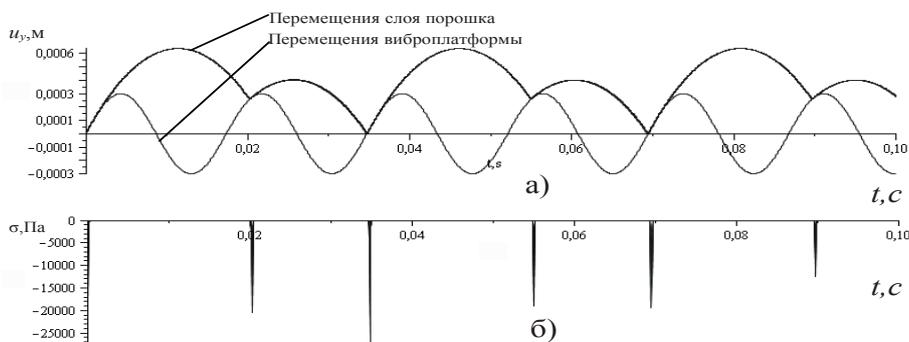


Рис. 2. Поперечные (а) перемещения слоя материала и вибрирующей поверхности, u_y – м ; напряжения (б) σ – Па

Увеличение параметра перегрузки Γ , хотя и в меньшем диапазоне, также возможно за счет увеличения амплитуды колебаний. Например, двукратное увеличение амплитуды дает следующую картину колебаний (рис. 3):

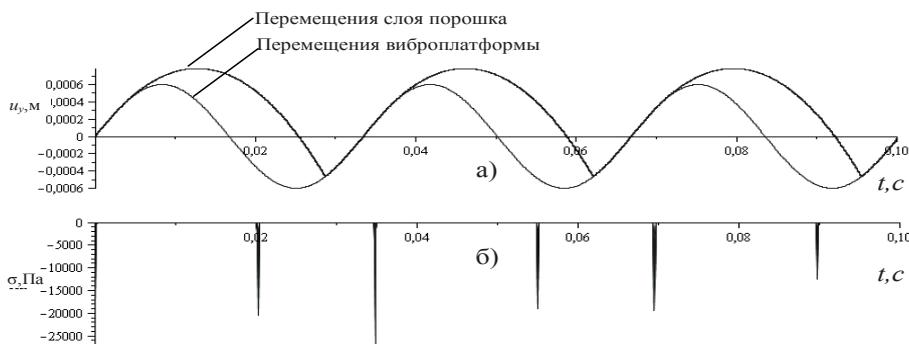


Рис. 3. Поперечные (а) перемещения слоя материала и вибрирующей поверхности, u_y – м ; напряжения (б) σ – Па

Таким образом, надежное прогнозирование параметров виброкипящего слоя порошков тяжелых соединений требует учета жесткости платформы для адекватной оценки обратной связи «форма колебаний платформы – ударные напряжения в слое», а также проведения дополнительных экспериментальных исследований по оценке механической проницаемости слоя порошка плазменным потоком, по аналогии с газовой проницаемостью для

где $M_{п}$ – масса порошка; где $\rho_{п}$, $\rho_{м}$ – соответственно плотность материалов ядра частицы и металла покрытия; R – радиус частиц порошка; $V_{и}$ – расход испаряемого на катоде материала; k_0 – коэффициент зависящий от площади закрытия слоем порошка площади виброплатформы; $K_{им}$ – коэффициент использования металла катода.

виброкипания в обычных условиях [6].

Эффективность процесса равномерного перемешивания определялась путем определения степени закрытия и равномерностью металлического покрытия на частицах и замера экспериментальной толщины h покрытия с теоретически рассчитанной величиной, полученной за время плакирования τ :

$$h = \frac{k_0 \cdot K_{им} \cdot \tau \cdot R \cdot \rho_{п} \cdot V_{и}}{3M_{п} \cdot \rho_{м}} \quad (2)$$

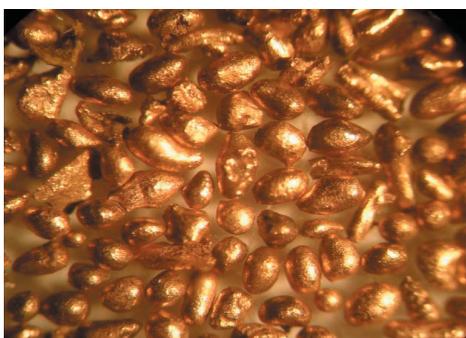
Расход испаряемой на катоде меди, определялся измерением массы катода до и после напыления, в зависимости от тока дугового разряда, в пределах 80 – 130 А, что составляло 50 – 100 г/час.

В процессе экспериментов камеру через каждые 20 минут открывали, а порошок подвергали анализу с помощью бинокулярного и металлографического микроскопов на предмет определения толщины покрытия и степени закрытия поверхности частиц меди (рис. 4).

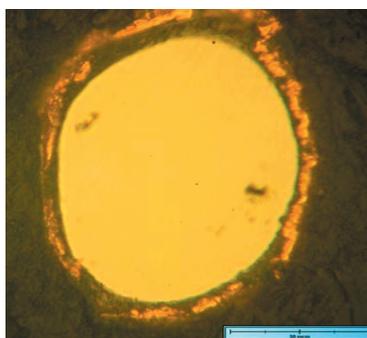
Измерялись также объем и масса порошка до и после напыления.

Выводы

Экспериментально установлено, что при осаждении на частицы порошка 2,5 – 3 масс % меди степень закрытия поверхности частиц составляет не менее 90%. Было установлено, что в результате перемешивания порошка имеющего большой диапазон грануляции в виброкипящем слое с равномерным подбрасыванием (рис. 3), степень закрытия мелких и крупных частиц была одинакова.



а)



б)

Рис. 4. а) общий вид плакированных частиц релита $\times 100$; б) поперечный шлиф плакированной частицы порошках 630

Литература

1. Металлические и керамические покрытия / Хокинг М., Васантасри В., Сидки П.- М.: Мир, 2000.- 518 с.
2. Газотермическое напыление композиционных порошков/А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин. –Л.: Машиностроение, Ленингр.отделение, 1985.–199 с.
3. Газотермические покрытия из порошковых материалов: [справочник] / [Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов и др.]. – Киев: Машиностроение, 1987. – 544 с.
4. Formation of an Amorphous Phase in Thermally Sprayed WC-Co/ C.J. Li, A. Ohmori, and Y. Harada // Journal of Thermal Spray Technology. – March 1996. –Volume 5(1). –P. 69 –73.
5. Шаронов Е.А., Ванновский В.В., Алексеев С.В. Вакуумно-дуговое напыление меди на порошок керамики SiO₂ – FeOn // Труды 6-й междунар. Конференции «Пленки и покрытия – 2001». – СПб: Изд. СПбГТУ. – 2001. – С.146–149.
6. Селиверстов И.А. Анализ процесса вакуумной металлизации порошковых материалов в виброкипящем слое / И.А.Селиверстов, С.А. Русанов, И.В. Смирнов, В.И.Копылов // Вестник національного технического университета Украины „ Киевский политехнический институт” / Машиностроение. –2009. – № 57. – С 50 – 56.
7. Членов В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В.Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 344с.
8. Система автоматизованого моделювання “Виброслой 1.0”. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір №25051. /С.А.Русанов. – №24961: Заявл. 14.04.2008; Опубл. 24.07.2008.