

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЖАРОПРОЧНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Тутык В.А., Гасик М.И.

Национальная металлургическая академия Украины

Инновационным направлением повышения жаростойкости сталей и сплавов, детали из которых работают в условиях высоких температур и окислительного газового потенциала, является нанесение на их поверхность тонких слоев из тугоплавких оксидов. Для формирования защитного слоя на поверхностях деталей из этих сплавов с учетом сохранения механических свойств сплава-подложки чаще других используют плазмотронный способ напыления защитного покрытия из тугоплавких оксидов. Однако, эти покрытия имеют высокую пористость и шероховатость, а их плотность находится в диапазоне 85÷93 % от теоретической. Это приводит к ухудшению теплозащитных свойств покрытия, работающего в высокоскоростном и высокотемпературном потоке газа.

В связи с этим возникла задача оплавления поверхности жаропрочного покрытия из ZrO_2 , полученного плазменным напылением для снижения его пористости и шероховатости, а также уменьшения напряжений в покрытии и увеличения адгезии к подложке.

В работе для решения этой задачи, предложено использовать электронные пучки (ЭП), позволяющие создавать на поверхности материала высокие удельные мощности в диапазоне 102-10¹¹ Вт/см² и оплавливать ее [1]. Использование электронно-лучевой технологии оплавления поверхности материалов во многих случаях сдерживается высокой стоимостью высоковакуумного оборудования, необходимого для работы термоэлектронных пушек, традиционно применяемых в технологических установках. Поэтому для этих целей применяются, разработанные в НМетАУ на кафедре физики газоразрядные электронные пушки с полым анодом [2], работающие в низком вакууме, создаваемом механическим форвакуумным насосом. Это значительно упрощает и удешевляет технологический процесс. Используемая в исследованиях низковакуумная газоразрядная электронная пушка (НГЭП) типа ЭПП-16 (рис.1) позволяет получать при плотности энергии 5,2 Дж/см², удельную мощность 5,2·10¹⁰ Вт/м², при давлении 13,3 Па. Частота следования импульсов составляла $f_c = 400$ Гц. Максимумы выделяющейся энергии и температуры при обработке материала импульсными электронными пучками располагаются на некотором расстоянии от поверхности.

Объектом исследования процесса оплавления защитного слоя было плазмотронное покрытие на сплаве ЭИ437, состоящее из ZrO_2 . Диоксид циркония существует в трех полиморфных модификациях (рис.2): α - ZrO_2 (моноклинная), β - ZrO_2 (тетрагональная) и γ - ZrO_2 (кубическая). Все три моди-

фикации ZrO_2 претерпевают обратимые превращения по схеме [4]:



Показана необходимость при создании покрытий на основе диоксида циркония следует учитывать возможные полиморфные превращения которые могут проявлять влияние при эксплуатации деталей при различных температурах.

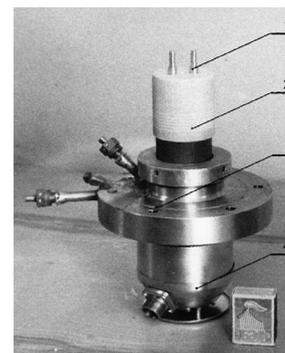


Рис.1. Общий вид ЭПП-16, где 1- охлаждаемый катод; 2 – изолятор; 3 – анод; 4 – фокусирующая и отклоняющая система

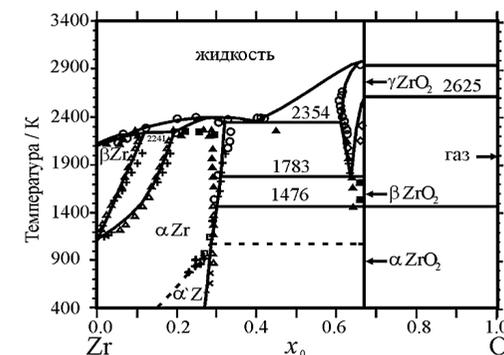


Рис. 2. Диаграмма фазовых равновесий в системе Zr-O [3]

Установлена эффективность использования НГЭП, работающих в низком вакууме в импульсном режиме для оплавления плазменных неметаллических покрытий из ZrO_2 .

Показано, что максимум распределения выделения энергии ЭП в плазменном покрытии необходимо располагать на глубине, где обеспечивается необходимая величина адгезии покрытия к подложке. О

Оплавление поверхности плазменного покрытия ZrO_2 НГЭП приводит к существенному уменьшению пористости покрытия, глазурированию его поверхности и открывает новые возможности в технологии создания термозащитных покрытий.

Литература

1. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1980. - 528 с.
2. Tutyk V.A. Low-vacuum gas-discharge electron guns on the basis of high-voltage glow

discharge //Problems of atomic science and technology.-2008.-№6. - P.156-158.

3. Тутык В.А., Гасик М.И. Особенности получения покрытий с использованием низковакуумных газоразрядных электронных пушек //Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008.- №7.– С.240-244.

4. Liang P., Dupin N., Fries S.G. Thermodynamic Assessment of the Zr-O Binary System //Z. Metallkd. 2001. v.92.-№ 7, P. 747-757.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ БОРИРОВАНИЕ НИЗКОВАКУУМНЫМИ ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУШКАМИ

Тутык В.А., Гасик М.И.

Национальная металлургическая академия Украины

Использование высокоэнергетических электронных пучков для оплавления, испарения и наплавки порошковых материалов позволяет создавать материалы с новыми уникальными эксплуатационными свойствами, обладающими высокой твердостью и износостойкостью [1, 2].

Реализации этой технологии на основе термоэлектронных пушек, работающих в высоком вакууме при давлениях ниже 10-3 Па, для реализации этой технологии затруднено из-за наличия газовыделения. Представляет практический интерес осуществление электронно-лучевого технологического процесса (ЭЛТП) наплавки и оплавления порошковых материалов в низком вакууме при более высоких давлениях (выше 10 Па). Это позволяет с одной стороны упростить вакуумное оборудование, снизить его стоимость, уменьшить время технологического процесса, а с другой стороны осуществлять оплавление в остаточной атмосфере реакционного газа.

Целью настоящей работы является физико-химическое и экспериментальное обоснование возможности использования карбида бора как боризатора стали при воздействии высококонцентрированной энергии пучка электронов, в относительно низком вакууме до 133 Па.

В Национальной металлургической академии Украины на кафедре физики разработаны низковакуумные газоразрядные электронные пушки (НГЭП) с полым анодом работающие в низком вакууме (при давлениях более 10 Па) и проводятся работы по использованию их в электронно-лучевых технологических процессах [2, 3].



Рис.1. Низковакуумная газоразрядная электронная пушка с полым анодом



Рис.2. Микроструктура борированного слоя и подложки Ст.20, полученная при $P_{уд} = 10^8 \text{ Вт/м}^2$; $V_{ск} = 0,09 \text{ м/с}$

В представленной работе приведены данные по исследованию микроструктуры покрытия, полученного в результате электронно-лучевой обработки НГЭП поверхности стальной подложки, покрытой порошкообразным мелкокристаллическим слоем карбида бора В4С и сделана попытка проанализировать и объяснить эти результаты. Процесс формирования покрытия электронным пучком протекает при высоких скоростях нагрева и охлаждения ($V_{но} = 6 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^4 \text{ К/с}$), что накладывает свои особенности на формирование структуры оплавленного покрытия. Рентгенофазовый анализ оплавленного слоя обнаружил присутствие боридов FeB , Fe_2B . Покрытие имеет градиентную структуру по глубине наплавленного слоя. Данные РСМА показывают увеличение боридов железа (FeB , Fe_2B) в покрытии от подложки к его поверхности. Исследования структуры покрытия позволяют выделить три характерные зоны: внешнюю, центральную и переходную, отличающиеся видом, свойствами и характером микроструктуры, которая в значительной степени зависела от параметров электронного пучка и времени обработки.

Распределение микротвердости неодинаково по толщине покрытия. Во внешней зоне 1 преобладают бориды имеющие твердость в диапазоне 7...10 ГПа. В центральной зоне 2 концентрация боридов уменьшается, возникают дендриты аустенита, и микротвердость снижается до значений 3...4 ГПа. В переходной зоне 3 преобладает ферритная составляющая и происходит снижение микротвердости покрытия до микротвердости подложки. Разброс