

ний, отмечается зернограничное упрочнение обусловленное выделение бейнита по границам зерен. Для материалов склонных к интерметаллическому разрушению создание композиционных структур на межфазной границе является одним из наиболее эффективных способов упрочнения. Причиной образования бейнита на границе раздела феррита является ускоренная диффузия углерода по границам зерен.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСЛОЙНОГО ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

**Новиков А.К., Матвеев К.С., Голубев А.Н. (УО ВГТУ, г. Витебск, РБ)**

*Objective - theoretical research of the layering formation composite electrochemical coatings.*

Теоретические исследования особенностей формирования композиционных покрытий различными методами позволяют сделать вывод о перспективности применения раздельного с электролизом механизма внешнего закрепления частиц, совмещенного с операцией активации поверхностного слоя катода (послойное осаждение). Такая схема должна обеспечить высокоскоростное формирования композиционного слоя и проводить контроль параметров покрытия и режимов осаждения.

Схема газодинамического метода формирования композиционного покрытия предполагает следующие этапы нанесения покрытия: предварительная обработка, нанесение металлической подложки, напыление частиц порошка на подложку, формирование композиционного слоя, контроль толщины покрытия, обработка поверхностного слоя покрытия.

Стадии образования покрытия. При образовании композиционного материала можно выделить несколько общих для всех процессов электроосаждения этапов: встреча частиц с поверхностью катода, задержка частиц на катоде, зарастание частиц матрицей.

При изменении технологической схемы с использованием ЭС на раздельный механизм осаждения частиц и металла матрицы выделяем следующие стадии образования покрытия:

- перенос ионов электролита и приэлектродной зоны на катод;
- газодинамическое закрепление частиц на поверхности катода;
- перенос частиц из приэлектродной зоны на катод;
- химическое и объемное взаимодействие частицы с электрохимическим осадком.

Перенос ионов на катод из приэлектродной зоны. Особенности этой стадии обусловлены наличием двойного электрического слоя, состав и строение которого оказывает значительное влияние на свойства осаждаемого металла. Если в объеме электролита диффузия ионов пренебрежимо мала, а главную роль в переносе ионов играет конвекция, то в прикатодном

слое диффузия становится главным фактором образования матрицы покрытия.

Газодинамическое закрепление частиц на поверхности катода. На данном этапе основным параметром является силовое взаимодействие распыляемых частиц с распыляющей средой, в результате которого в начальный момент частица приобретает определенную скорость при выходе из сопла распылителя. После этого на частицу начинает воздействовать сила сопротивления со стороны воздушной среды, тормозящая частицу до момента полной потери ей энергии и перехода в зону витания – хаотического движения под действием турбулентного потока. Встреча распыляемых частиц с поверхностью катода должна происходить при определенной скорости газопорошковой смеси, в результате чего частица имеет энергию, позволяющую ей преодолеть пленку электролита на поверхности катода.

Имеется несколько подходов к рассмотрению механизма закрепления частиц на поверхности катода:

- механический захват;
- воздействие электрического поля;
- адгезия частицы к катоду.

При газодинамическом методе формирования КЭП с сухим распылением порошка на поверхность катода вне электролизера преимущественное значение будет иметь механизм механического взаимодействия частиц с катодом, поскольку в момент распыления на катоде имеется нулевой потенциал относительно анода и электрическая сила не воздействует на частицу, находящуюся на поверхности катода.

Очевидно, что удержание частицы на поверхности катода до окончания процесса сушки будет осуществляться и благодаря силам поверхностного натяжения на границе частица-электролит и электролит-покрытие.

Перенос частиц из приэлектродной зоны на катод. Особенность технологической схемы – отсутствие двойного электродного слоя вблизи катода на этапе доставки частиц к его поверхности. В результате при возобновлении осаждения металла частицы уже находятся в приэлектродном слое. После приложения электрического поля частицы начинают адсорбировать ионы из объема электролита в приэлектродном слое, приобретая, таким образом, определенный заряд. В приэлектродном слое диэлектрическая постоянная значительно меньше, чем в объеме ванны, а напряженность электрического поля изменяется от максимального значения до значений в электролите. Это указывает на главную роль такого явления как электрофорез в процессе движения частиц в приэлектродном слое и по поверхности катода. Правда следует отметить, что это относится к частицам для которых оказался не реализован механический захват поверхностью катода.

Химическое и объемное взаимодействие частиц с электрохимическим осадком. На этой стадии проявляется избирательная адсорбция и адгезионное взаимодействие частиц с катодом. Согласно представлениям физической химии поверхностных явлений избирательная адсорбция происходит

путем взаимодействия заряженных частиц с электрически активными центрами поверхности. Она обуславливается электрическим силовым и молекулярным взаимодействием. Поскольку площадь активного центра значительно меньше сферы его влияния, поверхностное взаимодействие характеризуется дальнедействующими силами. Дальнедействие поля упругих искажений дислокаций может достигать 10-4 см, следовательно, электростатические силы взаимодействия частицы с активными центрами будут доминирующими. Частицы в приэлектродном слое могут получить как отрицательный, так и положительный заряд в зависимости от концентрации анионов и катионов в прикатодном слое. Активные центры катода также могут иметь заряды разных знаков. В результате в состав покрытия могут включаться и отрицательно заряженные частицы.

Выбор режимов осаждения композиционного покрытия. Механизм газодинамического закрепления частиц характеризуется следующими конструктивными и технологическими факторами:

- параметры форсунки (для пневматической форсунки, выбранной исходя из технологических особенностей процесса, это – размеры газового сопла);
- параметры распыления – диаметр факела, длина разгона частиц, равномерность распыла, скорость распыления;
- параметры электроосаждения – время процесса электролиза, плотность тока, температура процесса.

Определение выходного сечения газового сопла и критической скорости распыления. При расчете выходного сечения газа в форсунке принимаем, что процесс адиабатный, так как за короткое время протекания частиц через сопло теплообмен с окружающей средой практически не устанавливается.

Если отношение давления внутри форсунки  $P_1$  к давлению среды  $P_2$ , куда происходит истечение, больше критического то скорость в выходном сечении равна

$$u = \xi \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} P_1 v_1}, \text{ м/с,}$$

где  $v_1$  – удельный объем газа в форсунке,  $i^3 / \hat{e} \tilde{a}$ ;

$k$  – показатель адиабаты, равный для воздуха 1,4;

$\xi$  – скоростной коэффициент, учитывающий трение в форсунке, равный 0,85-0,95.

Расход газа равен

$$G_{\bar{a}} = f \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right) - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \frac{P_2}{v_1}}, \text{ кг/с,}$$

где  $f$  – живое сечение в узком месте сопла,  $i^2$ .

Для включения в состав осадка необходимо, чтобы частицы достаточно долго и с определенной силой удерживались на катоде. Задержка частиц на катоде происходит благодаря электростатическим, адсорбционным или гидродинамическим силам, действующим на частицу, находящуюся на поверхности катода. Существует диапазон скоростей порошковых частиц распыляемых форсункой, нижняя граница которого определяет способность частиц задерживаться на поверхности катода, а верхняя граница задается скоростью движения частицы, при которой она может отскакивать от катода, при этом скорость движения частицы напрямую зависит от конструктивных параметров пневматической форсунки.

Критическая скорость равна

$$u_{\text{сд}} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_1 v_1}$$

Определение времени процесса зарастивания в зависимости от времени напыления. Соотношение между временем зарастивания и временем распыления определяется по формуле:

$$t_{\text{з}} = \frac{\pi r^2 t_{\text{д}} \rho}{kI} \cdot \sqrt{\frac{3(P_2 - P_1)L}{r_1 \rho_1}} \cdot k_1,$$

где  $t_{\text{з}}$  – время зарастивания;  $t_{\text{д}}$  – время распыления;  $r$  – радиус трубы, по которой движутся частицы;  $k$  – электрохимический эквивалент вещества частиц;  $I$  – сила тока, пропускаемого через электролит;  $P_1$  и  $P_2$  – давление на выходе и на входе из форсунки;  $L$  – длина канала движения частиц;  $r_1$  – средний радиус частицы;  $\rho$  – объемная плотность частиц;  $\rho_1$  – плотность покрытия;  $k_1$  – поправочный коэффициент.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТОЙ СТАЛИ В ДЕТАЛЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Ольховик Е.О., Десницкий В.В.**

(Санкт-Петербургский институт машиностроения (ИМЗ-ВТУЗ),  
г. Санкт-Петербург, РФ)

*The proposed work methodology is aimed at designing foundry fabrication technologies of steel castings. A special feature of the proposed method, compared with traditional methods of design is the ability to accommodate future force operational loads, which perceive themselves cast parts. Integrated model is based on a combination of simulation results of solidification (casting) and modeling of fatigue resistance in the details of its operation.*

Для большинства деталей машиностроения, изготавливаемых методами литья, возникают дефекты в виде усадочной и газовой пористости. Образование пористости - результат сочетания различных и разнородных