

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЛАВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Высокая температура плавления ($1000...1150^{\circ}\text{C}$) большинства износостойких сплавов и значительная продолжительность процесса ($15...20$ мин и более) обуславливают существенное окисление покрытия и подложки, а также натекание расплава [1]. Образование натеков требует значительных припусков под последующую механическую обработку деталей либо приводит к браку. В связи с этим формирование однородного по толщине и свойствам покрытия, защита от окисления подложки и покрытия приобретают весьма важное практическое значение.

Нами исследован процесс оплавления и формирования износостойких покрытий из сплава ПГ-ХН80-С4Р4 под защитным тугоплавким слоем из Al_2O_3 или интерметаллидных соединений типа Ni-Al, полученных газотермическим напылением. Проведена оценка окисления подложки из Ст3 в процессе оплавления без защитного слоя и при наличии слоя из указанных выше материалов.

Нагрев образцов осуществляли по двум режимам. По режиму I (рис. 1) их нагревали от $T_1 = 20^{\circ}\text{C}$ до $T_3 = 1060^{\circ}\text{C}$ и охлаждали вместе с печью. По режиму II образцы нагревали от $T_2 = 800^{\circ}\text{C}$ до $T_3 = 1060^{\circ}\text{C}$ и охлаждали вне печи.

Кинетика окисления исследовалась по методу определения суммарного привеса окислов, отнесенного к единице площади поверхности образца. Средний привес окислов для образцов без защитного слоя по первому режиму термообработки составил $1,2098 \text{ г/м}^2$, а по второму – $1,1038 \text{ г/м}^2$. Термообработка образцов по приведенным выше режимам при наличии защитного слоя приводила к многократному уменьшению привеса окислов. Так, при толщине защитного слоя из интерметаллидного соединения ПН-70Ю30, равного $0,2 \text{ мм}$, он уменьшался до $0,1104...0,2550 \text{ г/м}^2$.

Существенный интерес представляют анализ механизмов удержания расплава от натекания и оценка соотношения толщин износостойкого и защитно-

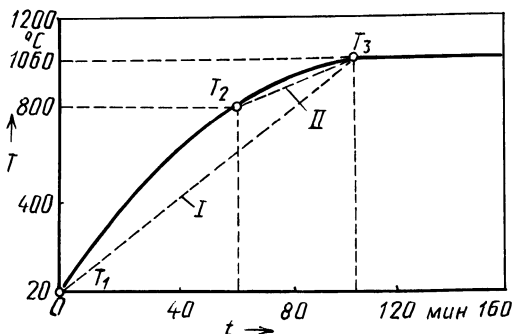


Рис. 1. Температурный режим нагрева образцов:

I режим — нагрев от T_1 до T_3 , охлаждение с печью; II режим — нагрев от T_2 до T_3 , охлаждение на воздухе

го покрытий, а также характера взаимодействия жидкой фазы с защитным слоем.

Анализ процессов на границе раздела жидкой и твердой фаз указывает на особый вид их физико-химического взаимодействия, характеризующегося смачиваемостью или несмачиваемостью твердой фазы расплавом металла. Движущей силой процесса является стремление системы к уменьшению свободной энергии на границе раздела фаз, характеризующейся краевым углом смачиваемости θ [2].

Угол θ существенно зависит от параметров шероховатости поверхности, силы поверхностного натяжения расплава, его температуры, наличия слоя окислов на поверхности, способности контактирующих веществ вступать в соединение. Принято считать [2], что если $\theta > 90^\circ$, то смачиваемость возможна, а при $\theta < 90^\circ$ смачиваемость отсутствует. При переходе от полированной к сильной шероховатой поверхности угол θ увеличивается на $15...20^\circ$ независимо от его значений.

Целый ряд тугоплавких окислов, таких, как SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , CrO_3 , HfO_2 , TiO , плохо смачивается расплавами металлов, а средний угол θ составляет $120...150^\circ$.

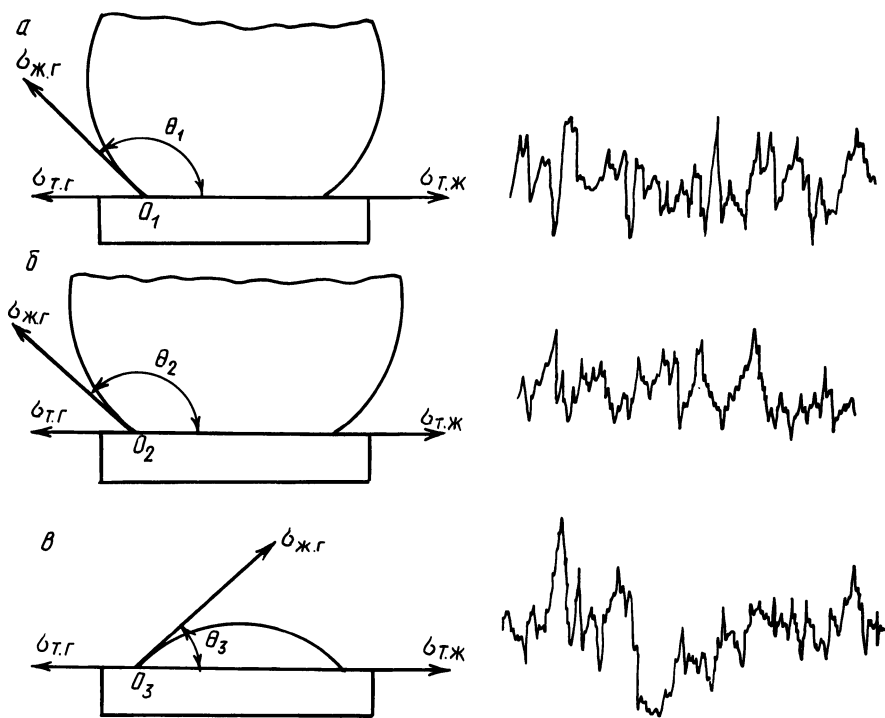


Рис. 2. Характер изменения угла смачиваемости θ сплавом ПН-ХН80-С4Р4 в зависимости от параметров шероховатости и вида подложки:

а – керамика Al_2O_3 , $\theta \approx 133^\circ$, Ra 6,29; б – интерметаллическое соединение Ni-Al, $\theta \approx 137^\circ$, Ra 5,51; в – сталь 45, $\theta \approx 142^\circ$, Ra 6,53

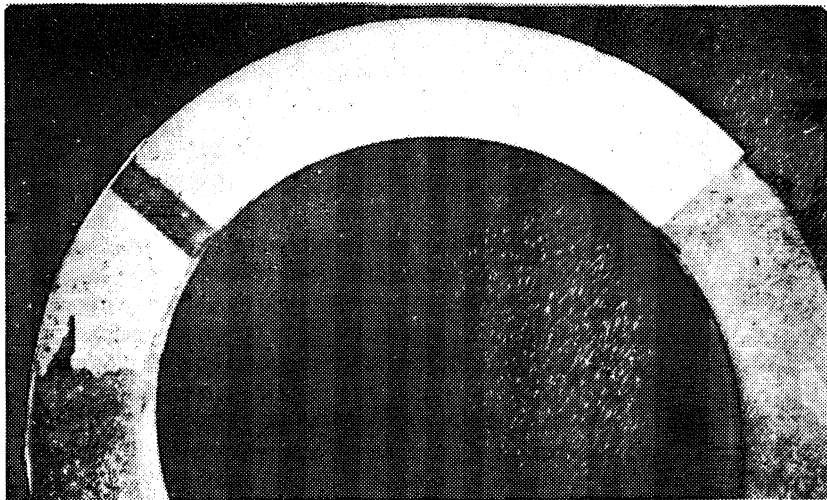


Рис. 3. Кольцо торцевого уплотнения нефтяного насоса износостойким покрытием, оплавленным под защитным слоем из Al_2O_3

Нами проведена экспериментальная оценка угла смачиваемости при оплавлении сплава ПГ-ХН80-С4Р4 на поверхности подложек с напыленным слоем из Al_2O_3 и Ni-Al, а также подложки из стали 45, подвергнутой дробеструйной обработке. Высота микронеровностей поверхности измерялась с помощью профилографа-профилометра мод. 220 завода "Калибр". Смачиваемость оценивалась по методу лежащей капли [3] при совместном скоростном нагреве капли и подложки токами высокой частоты. Было обнаружено, что равновесный краевой угол смачиваемости устанавливается при некотором перегреве капли расплава при температуре около $1150^\circ C$ и продолжительности выдержки 120 с.

Прямые замеры углов (рис. 2) показывают, что в случае подложки из Al_2O_3 (рис. 2, а) $\theta \approx 133^\circ$, а для интерметаллидного соединения Ni-Al (рис. 2, б) $\theta \approx 137^\circ$. Для подложки из стали 45 (рис. 2, в) $\theta \approx 42^\circ$. Плохая смачиваемость покрытия на основе интерметаллидного соединения Ni-Al скорее всего объясняется наличием окислов на частицах сплава, способствующих увеличению угла смачиваемости, так как в обычных условиях это соединение часто используется в качестве подслоя, улучшающего сцепление основного покрытия с подложкой. Износостойкий сплав в процессе оплавления под защитным покрытием находится между двумя твердыми поверхностями — подложкой, имеющей шероховатую поверхность, хорошо смачиваемую расплавом, и тугоплавким покрытием, которое практически расплавом не смачивается. Кроме того, тугоплавкое покрытие и подложка не меняют конфигурации своей поверхности, а защитное покрытие имеет сильно развитую поверхность, копирующую первоначальный рельеф напыленного износостойкого слоя. Расплав в процессе оплавления заполняет впадины и неровности в тугоплавком покрытии, что во многом способствует удержанию расплава от натекания.

Избыточное давление парогазовой фазы под защитным покрытием приво-

дит к удалению примесей через каналы, образовавшиеся между частицами покрытия. Анализ микроструктуры защитного покрытия из Al_2O_3 показывает, что формирование слоя идет за счет точечного сваривания частиц, оплавленных по поверхности в факеле плазмотрона и имеющих форму, близкую к сферической.

На основании исследований и анализа полученных данных выбраны оптимальные толщины оплаваемого покрытия и защитного слоя. В случае оплавления ПН-ХН80-С4Р4 толщины защитного тугоплавкого покрытия h_1 износостойкого покрытия h_2 должны находиться в соотношении $h_1 \approx 0,2h_2$.

На рис. 3 показана деталь торцевого уплотнения нефтяного насоса, оплавленного под защитным слоем из Al_2O_3 , полученным плазменным напылением. Практика оплавления под защитным слоем показывает, что в данном случае возможно применение газопламенного, печного нагрева, а также нагрева ТВЧ. При этом обеспечивается хорошая защита подложки и покрытия от окисления и натекания расплава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г. Некоторые особенности износостойких покрытий, полученных зонно-плазменным оплавлением//Изв. АН БССР: Сер. физ.-техн.наук. — 1983. — № 1.
2. Вайнерман М.Х., Шоршоров М.Х. Плазменная наплавка металлов. — Л., 1968. — 20 с.
3. Найдич Ю.В. Контактные явления в металлических расплавах. — Киев, 1972. — 196 с.

УДК 577.525.1:621.793.7

Т.Ф.БОГИНСКАЯ, Е.Я.ГОЛОВКИНА,
канд.техн.наук, А.С.ЛАЗАРЕВ,
канд.техн.наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Во многих работах, посвященных решению проблемы моделирования плазменного напыления, роль подложки, на которую набегает газовый поток, не учитывается. Это упрощение незначительно искажает расчетную траекторию движения частиц при малых скоростях истечения потока. Однако процесс напыления при увеличении скорости плазмы исследован недостаточно. Этой проблеме и посвящена данная работа.

Система уравнений, описывающих процесс плазменного напыления, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div}(\rho \vec{v} m_j - \gamma_j \operatorname{grad} m_j) = 0; \\ \operatorname{div}[\rho \vec{v} h - \gamma_h \operatorname{grad} T - \mu \operatorname{grad} (\frac{v^2}{2})] = 0; \\ \operatorname{div}(\rho \vec{v} v_z - \sigma_{zz}) + \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \\ \operatorname{div}(\rho \vec{v} v_r - \sigma_{rr}) + \frac{\partial p}{\partial r} = 0; \\ \frac{du}{dt} = a(u - v_z); \\ \frac{dw}{dt} = a(w - w_r), \end{array} \right. \quad (1)$$