

УДК 621.81.004.67

631.3.004.67

**НАНЕСЕНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ
Al-Fe ПОКРЫТИЙ НА ТЕПЛОАГРУЖЕННЫЕ ДЕТАЛИ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**DRAWING VACUUM AND PLAZMENY INTERMETALLIC AL-FE OF
COVERINGS ON THE HEATLOADED AUTOTRACTOR MACHINERY
DETAILS**

Лойко В.А., кандидат технических наук;

Ивашко В.С., доктор технических наук

(Белорусский национальный технический университет)

Loyko V.A., Candidate of Technical Sciences;

Ivashko V., Doctor of Technical Science

(Belorussian National Technical University)

Аннотация. *Процессы нанесения защитных покрытий и методы поверхностного модифицирования нашли широкое применение в машиностроении для улучшения поверхностных характеристик ответственных деталей. Нанесение покрытий из алюминия традиционно применяется для защиты от коррозии деталей, работающих при повышенных температурах. Однако механические характеристики алюминированных поверхностей не достаточно высоки. Интерметаллиды железа-алюминия обладают требуемым комплексом свойств. Поэтому исследование процессов формирования на поверхностях изделий из сплавов железа интерметаллидных слоев Al-Fe представляется важным и перспективным.*

Abstract. *Processes of drawing sheetings and methods of superficial modifying have found broad application in mechanical engineering for improvement of superficial characteristics of responsible details. Drawing coverings from aluminum is traditionally applied to protection against corrosion of the details working at the increased temperatures. However mechanical characteristics of the aluminized surfaces aren't rather high. Intermetallida of iron-aluminum have the required complex of properties. Therefore the research of processes of formation on surfaces of products from alloys of iron of intermetallic layers Al-Fe is obviously important also perspective.*

Расширение использования алюминия как конструкционного материала в высокотехнологичных изделиях сдерживается низкими поверхностными свойствами, в частности триботехническими характеристиками. Поэтому представляют значительный интерес методы поверхностного упрочнения изделий из железа или его сплавов нанесением материалов, улучшающих

поверхностные свойства основы. Важнейшим требованием к ним является прочная адгезионная связь защитного слоя с основой, обеспечивающая покрытие выполнение функции защиты основного металла конструкции. Алуминиды железа благодаря их дешевизне, высокой коррозионной стойкости, износостойкости и твёрдости используют в автомобилестроении, как заменители нержавеющей стали в системе выхлопа автомобилей, в качестве покрытий клапанов автомобильных двигателей, для дисков регенераторов автомобильных газотурбинных систем. Эти материалы перспективны для производства отдельных узлов и дисков газовых турбин турбокомпрессоров, работающих при температурах до 680°.

Целью работы являлось оценка возможности получения и основных характеристик интерметаллидных *Al-Fe* покрытий на поверхности *Fe* низкотемпературным плазменно-вакуумным напылением *Al* с последующей термической обработкой в условиях ионной бомбардировки.

Методика эксперимента. Поверхности образцов армко-железа (пластины 10×20×5 мм) перед нанесением покрытий полировали до $Ra = 0,01$, протирали бензином БР-1 и промывали этиловым спиртом в ультразвуковом поле УЗУ-0,25, просушивали в течение 10 минут при 150–200 °С.

Краевой угол смачивания поверхности образца каплей дистиллированной воды составлял не менее 175–179°. Образцы помещали в поворотное устройство в центре вакуумной камеры модернизированной установки «Булат-6», схема которой показана на рисунке [1]. Камера откачивалась механическим и паромасляным насосами до предельного вакуума 1×10^{-3} Па, затем образцы обрабатывали потоком ионов аргона из источника ионов «Радикал» ($P_{Ar} = (2-5) \times 10^{-2}$ Па, $U = 4$ кВ). Температура контролировалась пирометром и составляла на момент осаждения 150–200 °С. Схема камерной части вакуумно-плазменной установки для нанесения покрытий показана на рисунке 1. Фазовый состав покрытий оценивался с использованием дифрактометра Дрон-3, оснащенного малоугловой камерой, рентгеновского микроанализатора «Cameka-2», комплекса «Nanolab-7». Толщина слоя контролировалась на поперечных шлифах при увеличении 1500х. Микротвёрдость слоя определяли методом восстановленного отпечатка ГОСТ 9450-84 с использованием пирамиды Виккерса. Адгезионную прочность покрытий определяли на поперечных микрошлифах микроиндентированием в переходную зону и рассчитывалась по формуле $\sigma_A = 2P/D^2$, где P – нагрузка на индентор, D – длина трещины.

Слой *Al* толщиной 10–25 мкм наносили тремя независимыми электродуговыми источниками, установленными радиально в горизонтальной плоскости к центру вакуумной камеры ($P_{ост.} = 10^{-3}$ Па, $I_{дуг.} = 40-70$ А, $U_{п.} = 50-100$ В). Заданная толщина слоя обеспечивалась контролем времени осаждения покрытия (60 мин.).

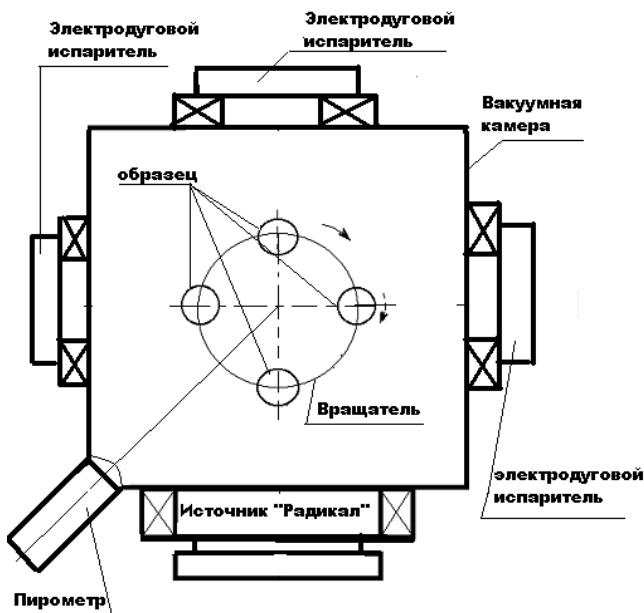


Рисунок 1 – Схема размещения образцов при нанесении покрытий в камере установки «Булат»

Затем к образцам с Al покрытием прикладывали отрицательный потенциал смещения 1-1,5 кВ и образцы разогревали бомбардировкой ускоренными ионами Al до температуры, при которой визуально наблюдается экзотермическая реакция синтеза интерметаллида ($0,6-0,7 \cdot T_{пл-Al}$). Процесс протекал с высокой скоростью, сопровождался локальным повышением температуры (на 250–300 °С), начиная с конденсированных макро неровностей и выступающих элементов образца, что приводит к их расплавлению и существенно интенсифицирует протекание реакций между алюминием и железом с формированием слоя интерметаллида Al_x-Fe_y на поверхности (рисунок 2).

Результаты и обсуждение. Диффузионная зона в граничной поверхности контакта покрытия и основного металла имеет характерное зернистое строение с четко очерченными утолщенными границами (рисунок 3), очертания которых в известной степени повторяющими подложку. На поперечном шлифе после травления проявляются три отличающихся по травимости участка: темная перетравленная подложка, светлая виде многочисленных веерообразно расходящихся из многочисленных центров,

направленных к подложке диффузионная зона, светло-серая с многочисленными белыми включениями, образующими лабиринтную структуру зона насыщения. Размеры зерен уменьшаются с приближением к поверхности образца, а на концентрационных кривых микрозондового анализа отмечается рост концентрации Fe и уменьшение содержания Al , затем на участке 18 мкм вблизи к предполагаемой граничной поверхности, концентрации изменяются незначительно по линейному закону, что свидетельствует о постоянном химическом составе фаз на этом участке, характерном для химических соединений, в данном случае интерметаллидов Fe_xAl_y .

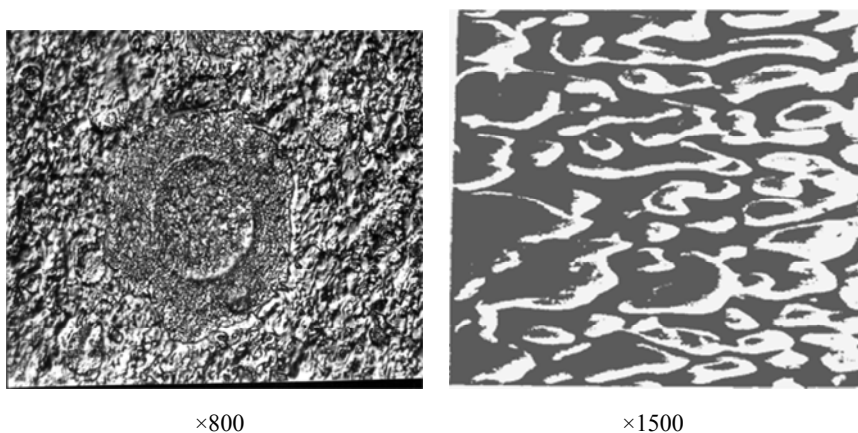


Рисунок 2 – Топография поверхности стальных образцов после нанесения алюминиевого покрытия и обработки ионами

При этом наблюдается формирование обширных зон диффузии по поверхности и объему (рисунки 2, 3).

Следует отметить, что зона интерметаллидов формируется не только в нанесенном покрытии, но и в поверхностных слоях образца, достигает толщины 30 мкм. Рентгенофазовым анализом выявлен ряд аллюминидов железа от Fe_3Al до $FeAl$, соотношение между интенсивностями которых меняется по толщине слоя. Формирование обширной зоны взаимодействия материалов покрытия и основы с образованием интерметаллидов связано с ионной стимуляцией процесса взаимной диффузии и ионной активацией исходных компонент реакций вследствие ионной бомбардировки поверхности ионами железа с энергией 1,5–4 кэВ. На металлографических шлифах отсутствует четкая граница между покрытием и основой, что свидетельствует о прочной металлической связи покрытия с подложкой. Адгезионная прочность покрытия составила 1,2–2,0 ГПа. Механические

свойства поверхности на первом этапе определяются толщиной слоя, содержащего интерметаллиды Fe_xAl_y , а также соотношением $Al-Fe$ в интерметаллиде. Микротвердость покрытия в зависимости от соотношения атомов железа и алюминия может изменяться от 5,8 ГПа до 9,5 ГПа.

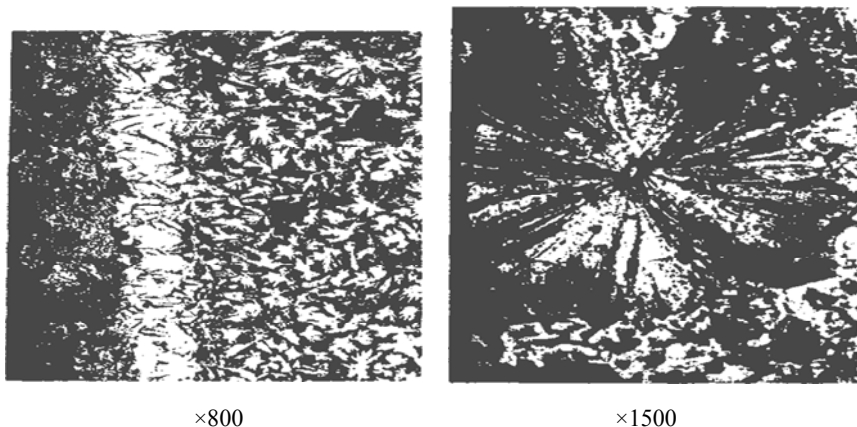


Рисунок 3 – Структура переходной зоны на косом шлифе ($\alpha=3^\circ$) образца Fe с Al покрытием

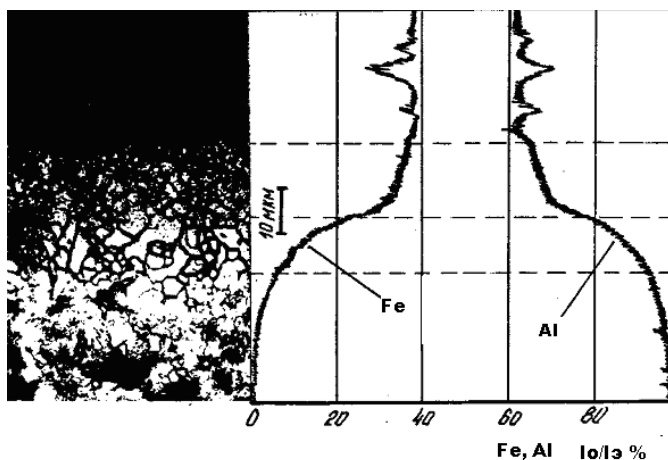


Рисунок 4 – Распределение элементов в переходной зоне от покрытия к основе при сканировании на косом шлифе ($\alpha=3^\circ$) от поверхности покрытия к основе образца

Заключение

При разработке высокопрочных материалов основные усилия направлены на установление связи между прочностными характеристиками основными физическими свойствами кристаллов. Этот подход вытекает из известного факта зависимости прочности кристалла, а также адсорбции и коррозии от характера величины межатомных сил связи и такие важные для практики свойства, как прочность, твердость и износостойкость. Проведенными исследованиями установлена возможность получения интерметаллидных фаз Fe_x-Al_y при вакуумно-плазменном нанесении Al покрытий на основу Fe и последующим нагревом бомбардировкой ионами материала покрытия. Ионно-стимулированный синтез интерметаллидов по характеру протекания напоминает СВС-процесс.

Полученные слои имеют удовлетворительные триботехнические характеристики, значительно улучшающие поверхностные свойства (твердость, адгезионную прочность и др.) основного металла образца.

Литература

1. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве / В.А. Лойко и [др.]. – Минск: УО БГАТУ, 2007. – 190 с.

УДК 629.4.077

СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ STATIC CHARACTERISTIC OF ELECTRONIC BRAKING SYSTEM

Леонтьев Д.Н., доцент, кандидат технических наук;

Красюк А.Н., ассистент, кандидат технических наук;

Дон Е.Ю., соискатель

(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

Leontiev D., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;

Krasyuk A., Assistant, Candidate of Technical Sciences;

Don E., applicant

(Kharkov National Automobile and Highway University)

Аннотация. *Предложена концепция определения в отношении выбора статической характеристики электронно-пневматической тормозной системы транспортного средства. Определен характер изменения давления в тормозном приводе при штатном и экстренном торможении.*