

Заключение

Наибольшую долю из восстанавливаемых деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин составляют детали типа «круглые стержни».

Наибольшее распространение, из числа известных методов нанесения износостойких покрытий, для восстановления размеров изношенных поверхностей деталей приобрели различные способы наплавки, газотермического напыления и гальванирования. Несмотря на широкое распространение, способы нанесения покрытий перечисленными способами, с одной стороны, обладают рядом недостатков, а с другой, сами покрытия в ряде случаев не удовлетворяют тому комплексу требований, которые к ним предъявляются.

Наиболее универсальным и приемлемым является способ активированной дуговой металлизации с активированием распыляющего потока продуктами сгорания пропано-воздушной смеси, как наиболее проработанный с производственной точки зрения и экономически эффективный.

Для восстановления размеров рабочих поверхностей деталей работающих в условиях трения при граничной смазкой оптимальным материалом является проволока Нп-40Х13, для деталей с изношенной поверхностью посадки подшипника – Нп-65Г.

УДК 621.81.004.67
631.3.004.67

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ Al-Fe ПОКРЫТИЙ ПЛАЗМЕННО-ВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

*Лойко В.А., к.т.н., доцент; Семин Е.В.; Кучинский А.П.; Кулиш Е.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск*

Процессы нанесения защитных покрытий и методы поверхностного модифицирования нашли широкое применение в общем и сельскохозяйственном машиностроении для улучшения поверхностных характеристик ответственных деталей. Нанесение покрытий из алюминия традиционно применяется для защиты от коррозии деталей оборудования пищевого и перерабатывающего производств. Однако механические характеристики иллюминированных поверхностей не достаточны для промышленной эксплуатации в перерабатывающей отрасли. Поэтому исследование процессов формирования на поверхностях изделий из железа интерметаллидных слоев Al-Fe представляется важным и перспективным.

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 выполнению функции защиты основного металла конструкции.

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 10x20x5 мм) перед нанесением покрытий полировали до $R_a=0,01$ мкм, 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 °С. Образцы помещали в поворотное устройство в центре вакуумной камеры модернизированной установки «Булат-6», схема которой показана на рисунке 1 [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, $U=4$ кэВ). Температура контролировалась пирометром и составляла на момент осаждения 150-200 °С. Схема камерной части вакуумно-плазменной установки для нанесения покрытий показана на рис. 1. Фазовый состав покрытий оценивался с использованием дифрактометра Дрон-3, оснащенного мало угловой камерой, рентгеновского микроанализатора «Cameka-2», комплекса «Nanolab-7». Толщина слоя контролировалась на поперечных шлифах при увеличении 1500x. Микротвердость слоя определяли методом восстановленного отпечатка ГОСТ 9450 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, $I_{дуг.}=100$ А, $U_n=80-100$ В). Заданная толщина слоя обеспечивалась контролем времени осаждения покрытия (60 мин.).

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 $T_{пл. Al}$). 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.

нию и существенно интенсифицирует протекание реакций между алюминием и железом с формированием слоя интерметаллида Al_x-Fe_y на поверхности железа (Рис. 2).

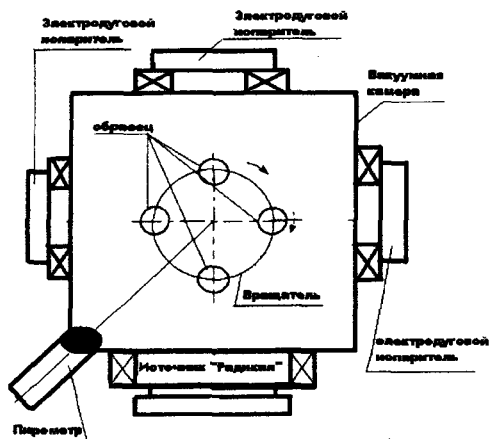
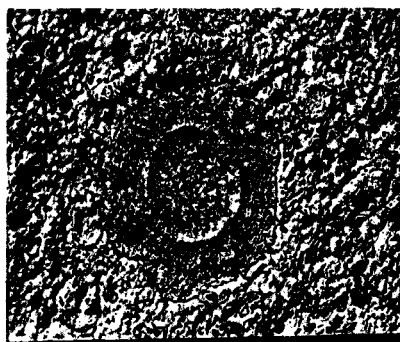
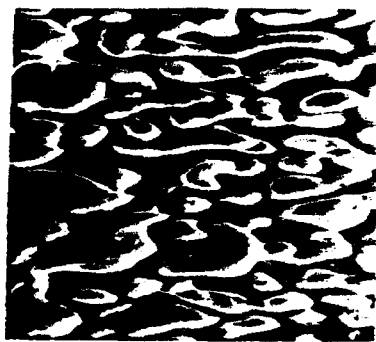


Рис. 1. Схема размещения образцов при нанесении покрытий в камере установки «Буллат»



x800



x1500

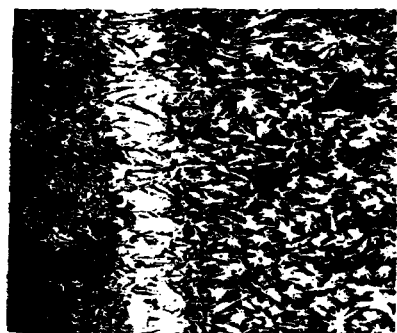
Рис. 2. Топография поверхности стальных образцов после нанесения алюминиевого покрытия и обработки ионами

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

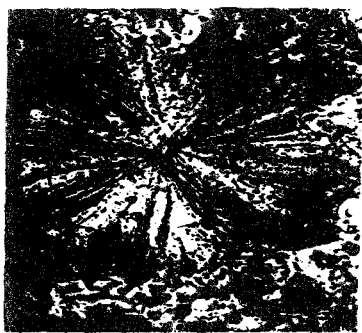
гочисленных веерообразно расходящихся из многочисленных центров, направленных к подложке диффузионная зона, светло-серая с многочисленными белыми включениями, образующими лабиринтную структуру зона насыщения. Размеры зерен уменьшаются с приближением к поверхности покрытия, а на концентрационных кривых 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-Al*.

При этом наблюдается формирование обширных зон диффузии по поверхности и объему (Рис. 3, 4).

Следует отметить, что размеры зоны, в которой выявлено образование новых фаз, значительно превышает толщину слоя покрытия и достигает 30 мкм. Рентгенофазовым анализом выявлен ряд алюминидов железа от *Fe₃Al* 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 2-4 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-Al*, а также соотношением концентраций интерметаллидов различной стехиометрии. Микротвердость от 0,8 ГПа, близкой к микротвердости *Fe*, до 9,5 ГПа, соответствующей микротвердости высших интерметаллидных фаз *Fe-Al*.



x800



x1500

Рис. 3. Структура переходной зоны на косом шлифе ($\alpha-3^0$) образца *Fe* с *Al* покрытием

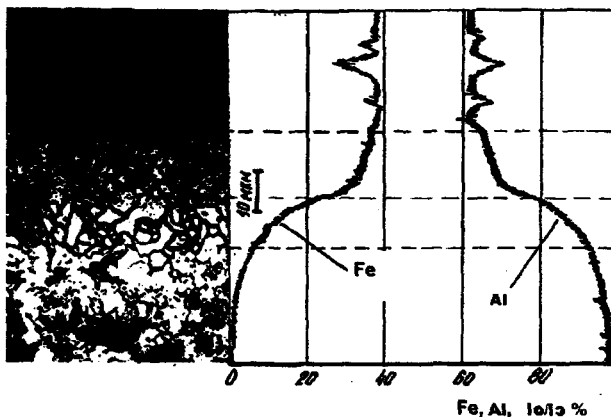


Рис. 4. Распределение элементов в переходной зоне от покрытия к основе при сканировании на косом шлифе ($\alpha=3^\circ$) от поверхности покрытия к основе образца

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 нанесением *Al* покрытий на основу *Fe* и последующей термообработкой за счет нагрева 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, коррозионную стойкость и другие характеристики) изделий на основе железа.

Литература

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