

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМИРУЕМОГО СЛОЯ ПРИ ИОННОМ ОСАЖДЕНИИ ИЗ РАСТВОРОВ

Белорусский национальный технический университет  
\*ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»  
г. Минск, Республика Беларусь

*Adhesive strength deposited layer depends very considerably on the surface state. To increase the surface's activation preliminary treatment was applied by means of low-energy ion-beam implantation with high density of ion current. This method allows formation of surface nitriding layer with thickness of several microns at controlled temperature. Process of nitriding was realized at temperatures 400, 450 and 500 °C. The further deposition of layer from water solution has revealed non-monotonic dependence of the layer thickness on treatment temperature. It has been established that most prominent results were obtained for nitriding temperature equal 400 °C. Further investigations are required to find correlation between technological parameters and thickness and adhesive strength of deposited layer.*

Адгезионная прочность и толщина осаждаемого слоя во многом определяется состоянием поверхности изделия. При реализации стандартного процесса осаждения из водных растворов первоначально (4–6 минут) происходит очищение и последующая активация поверхности, обеспечивающая высокую адгезионную прочность. С целью анализа влияния предварительной активации поверхности образцов из промышленных чугунов на процесс управляемого ионного осаждения и повышения производительности процесса (за счет отсутствия стадии первоначальной очистки поверхности и ее активации) были проведены исследования по влиянию предварительной активации поверхности на толщину и качество осаждаемого покрытия. Предварительная активация поверхности осуществлялась азотированием, которое было реализовано методом низкоэнергетической ионно-лучевой имплантации с высокой плотностью ионного тока. Данный метод позволяет обеспечивать не только активацию поверхности, но и проводить легирование поверхностных слоев азотом глубиной до десятков микрон благодаря процессам радиационно-стимулированной диффузии при контролируемых температурах. Сущность метода заключается в том, что образец закрепляется на держателе, который одновременно является резистивным нагревателем. В нашем случае для выявления оптимальных режимов ионного осаждения азотирование проводилось при температуре образцов 400, 450 и 500 °C. Держатель с образцом монтировался в рабочей камере вакуумной установки, откуда насосами откачивается воздух до остаточного давления  $(1-3) \times 10^{-3}$  Па. Затем включался нагреватель, который прогревал образцы до заданных температур. В рабочей камере расположен автономный ионный источник, генерирующий пучок ионов любых технологических газов с энергией до 2,5 кэВ и плотностью ионного тока до 2,0 мА/см<sup>2</sup>. Ионно-лучевая обработка образцов в зависимости от толщины желаемого поверхностного легирования может длиться до нескольких часов.

Обычно для  $\alpha$ -Fe толщина ионно-модифицированного слоя превышает 100 мкм, а для сложнолегированных сталей (12X18H10T, P6M5, 40X13 и т.п.) толщина — 20–40 мкм. Если в составе стали присутствуют элементы с высоким сродством (особенно Cr) к азоту, то эффект упрочнения модифицированного слоя становится более значительным.

Имплантацию азота образцов из высокопрочного хромистого чугуна осуществляли на установке УВН-2М. Энергия имплантируемых ионов азота — 2,5 кэВ, плотность ионного тока составляла 2,0 мА/см<sup>2</sup>. В процессе 2-х часовой обработки при таких энергетических параметрах пучка доза составляет  $3 \times 10^{19}$  ион/см<sup>2</sup>.

После процесса азотирования образцы были подвергнуты процессу ионного осаждения из водных растворов. После формирования осажденного слоя часть образцов была использована для проведения физико-механических испытаний, а другие образцы были использованы для металлографических исследований. В результате исследований было выявлено, что зависимость толщины осаждаемого слоя от температуры азотирования носит не монотонный характер, а на кривой имеются экстремумы, что свидетельствует о формировании возможно различных фаз при различных температурах азотирования, а также наблюдается различная толщина слоя легирования (рис. 1). Для всех температур азотирования толщина формируемого слоя при последующем осаждении в несколько раз превышает толщину слоя, сформированного на исходном образце. Это свидетельствует о положительном влиянии предварительно сформированных нитридов на скорость осаждения и стабильность процесса формирования слоя.

При этом необходимо отметить, что для образцов, не подвергнутых предварительной поверхностной активации высокоэнергетической обработкой, наблюдается перенапряжение поверхностного слоя, приводящее к расслоению наносимого покрытия при многостадийном осаждении (рис. 2, а). На образцах, прошедших предварительную обработку азотированием, таких дефектов не наблюдалось (рис. 2, б).

Однако, как видно из рис. 2, б, при многостадийном осаждении на границах слоев наблюдается формирование инородной фазы из раствора. Полученные результаты показывают, что должны быть проведены дополнительные исследования по оптимизации процесса ионного осаждения из раствора при предварительном азотировании поверхности. Это обусловлено тем, что нитридные фазы в образце влияют на скорость осаждения элементов, содержащихся в растворе, что может вызвать нарушение очередности формирования фаз.

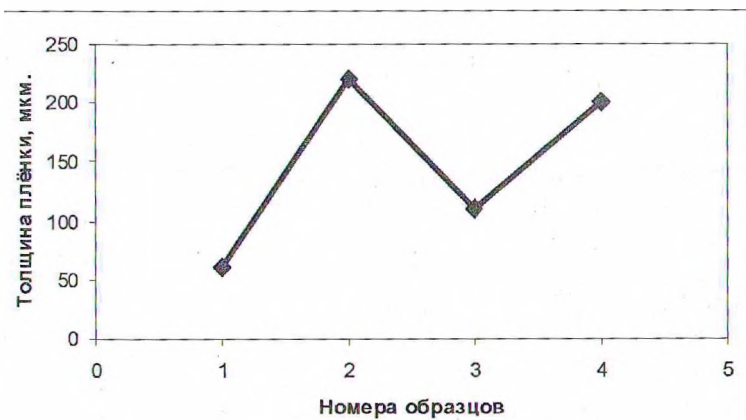


Рис. 1. Зависимость толщины осаждаемого слоя от предварительной обработки:  
1 — исходный образец; 2, 3 и 4 — образцы, прошедшие предварительное азотирование с температурами нагрева 400, 450 и 500 °С соответственно)

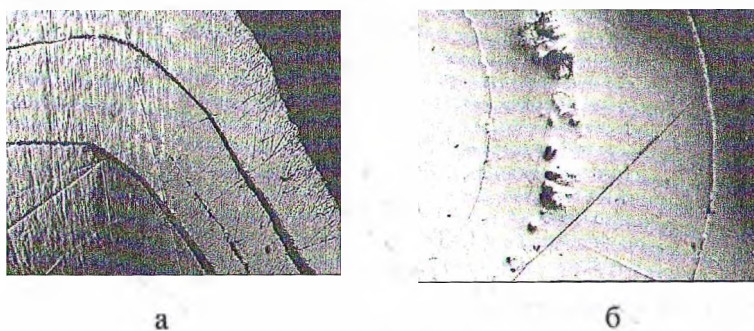


Рис. 2. Покрытия, нанесенные на чугунные образцы:  
а — исходный, б — после предварительной обработки