

Влияние конструктивных особенностей катодного узла на изменение количественного элементного состава формируемого покрытия

Л.М. Петров,*К.В.Григорович, В.В. Зеленков, *Г.С. Спрыгин, В.Д. Семенов,*Я.Я. Химюк
ОАО «Национальный институт авиационных технологий», Россия, г.Москва, Петровка,
д.24, e-mail:info@niat.ru

*ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской
академии наук, Россия, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д.49,
e-mail:grigorovichkv@gmail.com

Рассмотрено влияние воздействия потока газо-металлической плазмы системы Ti-N на изменение элементного состава обрабатываемого поверхностного слоя стали 12Х18Н10Т в зависимости от конструктивных особенностей катода. Показано, что интенсивность изменения состава формируемого поверхностного слоя зависит от его конструктивных особенностей.

The influence of the structural features of a cathode assembly on the change in quantitative elemental composition of the generated coating. L.M. Petrov, K.V. Grigorovich, V.V.Zelenkov, G.S. Sprygina, V.D. Semionov, Ya.Ya. Khimuk. The influence of Ti-N gas and metal plasma stream on the change in the quantitative elemental composition of 12H18N10T steel surface layer under treatment depending on the cathode structural features is considered. It is shown that intensity of changes in the composition of the generated surface layer depends on its structural features.

В настоящее время известны различные типы вакуумных дуговых источников плазмы (испарителей) предназначенных для генерации металлической плазмы с целью нанесения различных видов покрытий. В этих устройствах используется дуговой вакуумный разряд с «холодным» расходуемым катодом. Разряд горит в хаотически перемещающихся по поверхности рабочего тела (катод) катодных пятнах (КП). Плотность мощности в катодных пятнах достигает значений 10^{10} - 10^{13} Вт/м² и в них протекают локальные процессы эмиссии, испарения и ионизации паров материала катода [1]. Процесс горения вакуумного дугового разряда (дуги) это чередующиеся взрывы КП – ячейки, состоящей из нескольких микропятен. Внутри КП происходят процессы зарождения и погасания микропятен. При этом существует статистическая вероятность погасания КП в случае прекращения или запаздывания по какой-либо причине перезажигания микропятен. В начальный момент процесса погасания КП происходит увеличение колебаний тока и возрастание напряжения. Скорость погасания КП зависит от многих факторов: теплофизических свойств материала катода, давления в вакуумной камере, характеристик источника питания (скорости нарастания напряжения, величины напряжения холостого хода и рабочей точки) и др. По разным данным длительность погасания вакуумного дугового разряда составляет 10^{-5} ... 10^{-8} секунды.

Отсутствие внешних магнитных полей приводит к либо хаотическому движению КП, либо к направленному движению, преимущественно совпадающему с направлением тока разряда, протекающего через КП по телу катода. При этом КП с конечной вероятностью могут уходить с рабочей поверхности катода, что часто приводит к аварийным ситуациям (уход КП за экран) или отключению дугового испарителя. Известны различные способы удержания КП на рабочей поверхности катода, включающие создание электростатических экранов [1,2] или магнитных полей [3,4]. Наличие магнитного поля в рабочей области горения КП приводит к стабилизации процесса горения КП и повышению надежности его работы (электродуговые источники плазмы установок типа ННВ-6.6 И1).

Многолетняя эксплуатация данного вида испарителей показала, что применяемая конструкция не является оптимальной, так как формируемый плазменный поток не является стабильным и не гарантирует получение качественных покрытий, а проблему качества приходится решать за счет усложнения технологии.

Плазменные потоки, взаимодействия с обрабатываемой поверхностью, способствуют

формированию различных видов покрытий, свойства которых зависят от соотношения компонентов газо-металлической плазмы. Особенно это актуально при формировании покрытий на основе системы (Ti-N), где комплекс получаемых свойств определяется изменением соотношения компонентов плазменного потока участвующих в плазмохимической реакции.

В данной работе, изменение соотношений компонентов системы (Ti-N) достигалось путем сравнения результативности осаждения массы Ti в процессе работы двух конструктивных решений испарителей: стандартного катода и катода со встроенным дополнительным постоянным магнитом. Эффективность работы исследуемых систем катода оценивалась по количественному сравнению осаждаемой массы Ti на подложку из стали 12X18H10T (150x33x2 мм) и формированию диффузионных зон элементами подложки и элементами покрытия при постоянстве рабочих параметров источников плазмы ($J_d=100A$, $U_{оп.} = -50V$, $p = 1,3 \cdot 10^{-1}$ Па, время осаждения 15 мин), являющихся гарантом объективности оценки.

Начало процесса взаимодействия потока газо-металлической плазмы с обрабатываемой поверхностью связано с её разогревом ($320^{\circ}C$), очисткой и последующим осаждением элементов плазменного потока. Наличие указанной температуры и энергии ионов плазменного потока способствует началу процессов взаимной диффузии осаждаемых элементов плазменного потока и элементов подложки.

Как показали исследования, взаимная диффузия элементов обрабатываемой подложки и элементов плазменного потока зависит от многих факторов, в том числе и от интенсивности осаждения, определяемой количественным изменением концентрации осаждаемых элементов плазменного потока, рис.1-2. Постоянство параметров технологического процесса предполагает создание одинаковых первичных условий для формирования плазменных потоков, и только конструктивное отличие (наличие дополнительных постоянных магнитов) должно повлиять на количественный характер изменения элементного состава формируемого поверхностного слоя.

Осуществление процессов вакуумной ионно-плазменной (ВИП) обработки на установках ННВ6.6- И1 связано с генерацией электродуговыми испарителями газо-металлических плазменных потоков их формированием и осаждением на обрабатываемую поверхность. При этом наблюдается динамическое изменение плотности плазменного потока в объеме вакуумной камеры, что влияет на изменение массы осаждаемого элемента покрытия (Ti) в системе Ti-N. рис.1. Причем, по длине исследуемых образцов (150 мм), растет неоднородность по концентрации осаждаемых элементов плазмы и можно выделить условно три зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю.

Взаимодействие элементов плазменного потока (Ti-N) с обрабатываемой поверхностью способствует их осаждению и формированию, как процессов плазмохимической реакции, так и диффузионных процессов осаждаемых элементов по границе создаваемого композита «подложка–покрытие». Послойное исследование количественного изменения элементного состава по глубине осаждаемого покрытия показало, что при взаимодействии плазменного потока с обрабатываемой поверхностью формируется структурно измененный поверхностный слой, состоящий из: покрытия, переходной диффузионной зоны и пограничной зоны основного металла. Отличительной чертой, формируемых зон, является наличие градиентного переходного элементного состава, изменяющегося от материала покрытия к материалу подложки. Величина формируемых зон и интенсивность диффузионных процессов элементов подложки и покрытий зависит от массы осаждаемого покрытия.

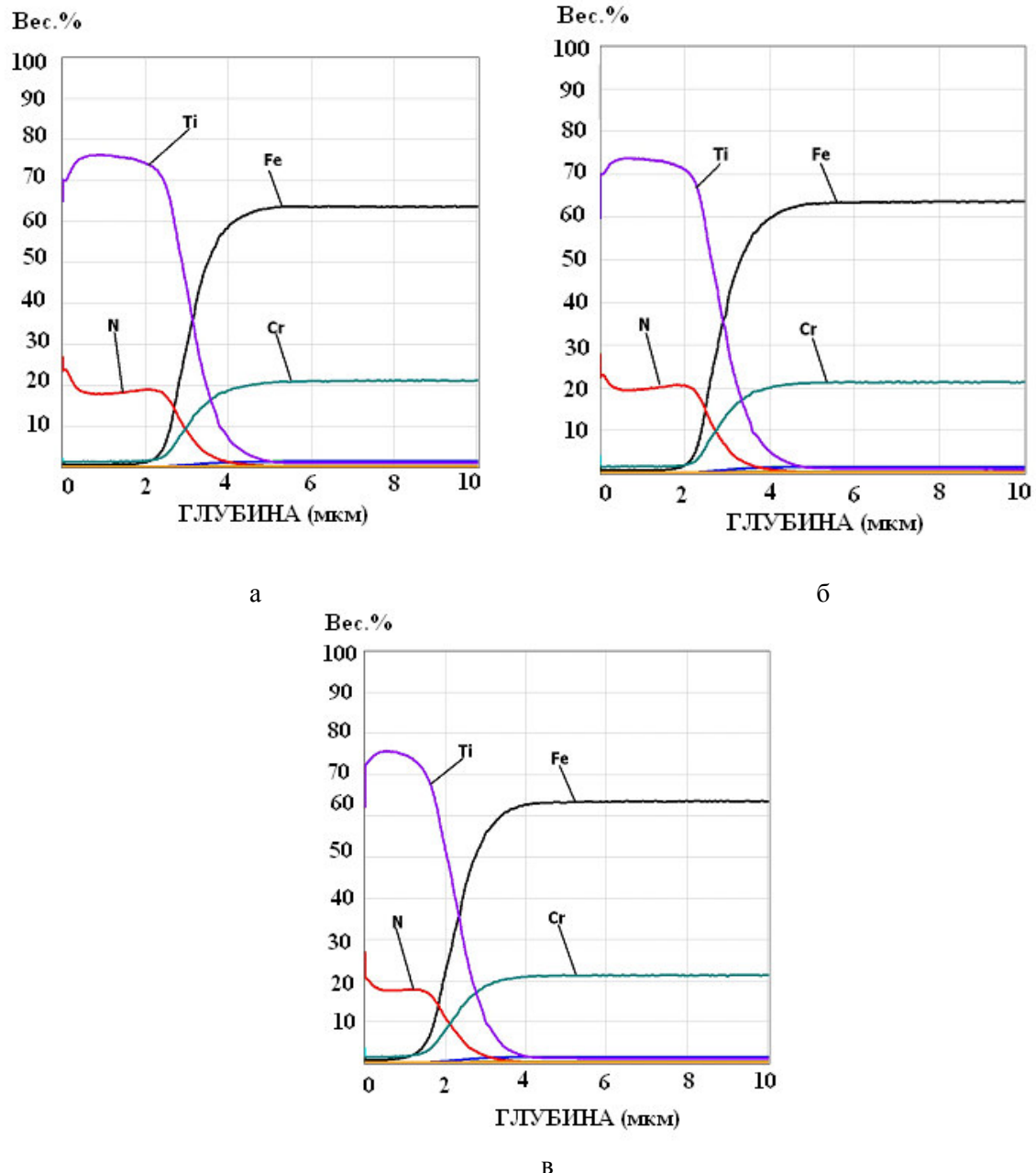


Рис. 1. Количественное изменение элементного состава осаждаемого покрытия системы Ti-N (стандартный катод) на подложке из стали 12X18H10T, размещенной: а) на 100 мм выше оси катода; б) по оси катода; в) на 100 мм ниже оси катода.

Особенно это становится заметным при переходе к работе с конструкцией катода имеющей дополнительный постоянный магнит (рис. 2). Наличие дополнительных постоянных магнитов привело к увеличению массы осаждаемого элемента (Ti) в покрытии системы Ti-N в два раза, что привело к увеличению толщины покрытия с 2,5 мкм до 5 мкм, по всей длине образца. Увеличение массы осаждаемого элемента повлияло также и на формирование переходной диффузионной зоны, которая увеличилась с 2 мкм до 4 мкм.

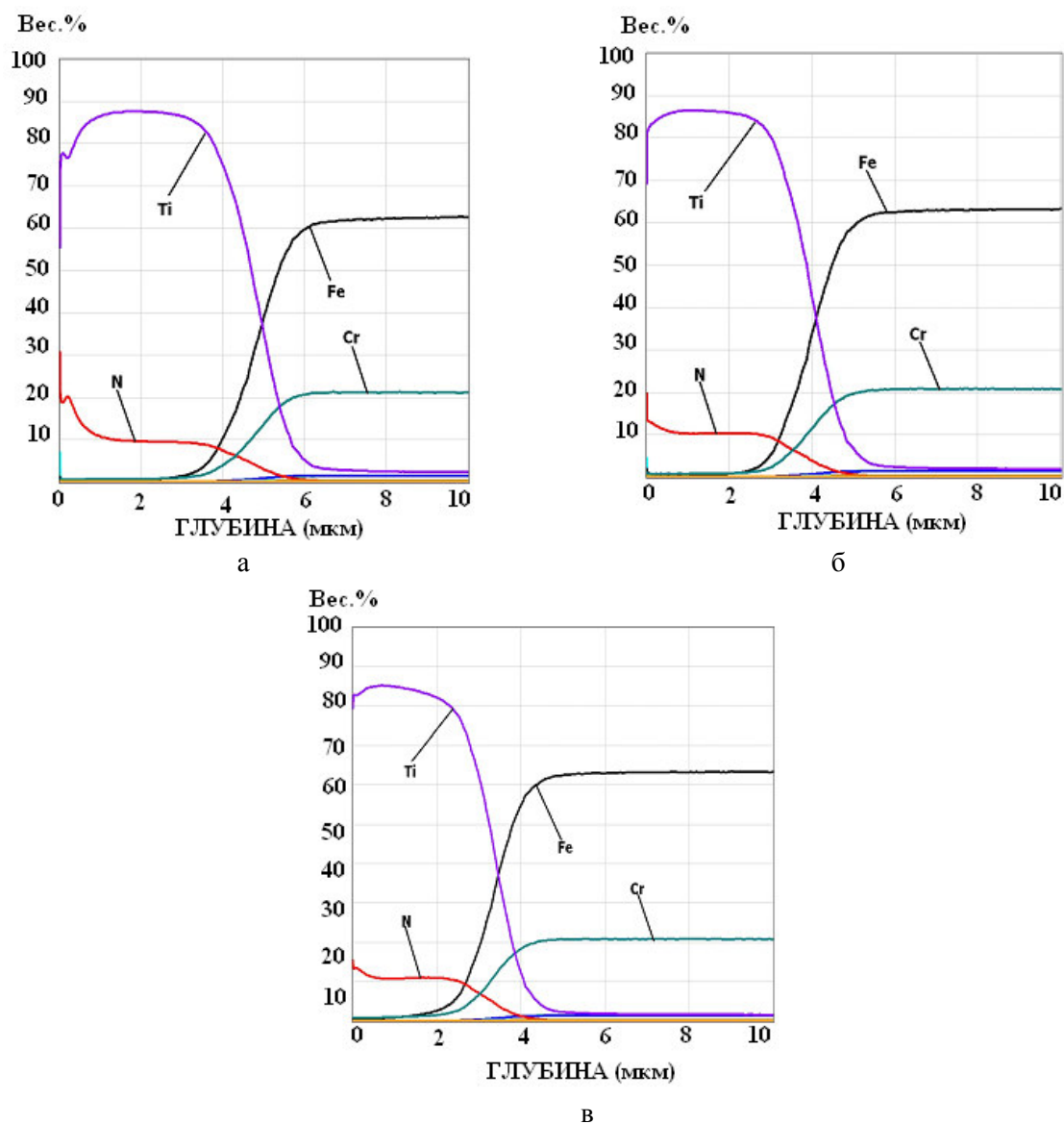


Рис.2. Количественное изменение элементного состава осаждаемого покрытия системы Ti-N (катод с постоянным магнитом) на подложке из стали 12X18H10T, размещенной: а) на 100 мм выше оси катода; б) по оси катода; в) на 100 мм ниже оси катода.

Таким образом, применение катода с постоянным магнитом привело к увеличению массы осаждаемого титанового покрытия и увеличению переходной диффузионной зоны, что является одним из важнейших факторов, влияющих на получение функциональных и эксплуатационных свойств.

Литература

1. Г.Л. Саксаганский. Электрофизические вакуумные насосы. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Л.П. Саблев, Н.П. Атаманский, В.Н. Горбунов, Ю.И. Долотов, В.Н. Луценко, В.В. Усов. Электродуговой испаритель металлов. А. с. СССР, № 268122, 1968.
3. Л.П. Саблев, Ю.И. Долотов, Р.И. Ступак, В.А. Осипов. Электродуговой испаритель металлов с магнитным удержанием катодного пятна // ПТЭ. 1976, № 4, с.247-249.
4. И.И. Аксёнов, В.Г. Брень, В.Г. Падалка, Л.П. Саблев, Р.И. Ступак, В.М. Хороших. Вакуумно-дуговое устройство. А. с. СССР, № 1040631, 1983.