

УДК 539.4

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
СВОЙСТВА СТАЛИ 40Х13 ПРИ ДУПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Е.Д. Воронина

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: edv2@tpu.ru

**INFLUENCE OF NITRIDING DURATION ON STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES
OF AISI 420 STAINLESS STEELS UNDER DUPLEX TREATMENT**

E.D. Voronina

Scientific Supervisor: Assistant Professor, PhD D.V. Sidelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: edv2@tpu.ru

Abstract. *This article describes the study of a role of plasma nitriding on structural and functional properties of AISI 420 steel with CrAlN coating obtained by magnetron sputtering. Plasma nitriding results in forming nitrogen-stabilized ferritic α -Fe phase and solid solutions based on iron nitrides (ϵ -Fe₂₋₃N, γ' -Fe₄N). The hardness of the deposited CrAlN film increases over its thickness under duplex plasma treatment. The increase in microhardness of steel leads to improvement in adhesion strength of CrAlN coating.*

Введение. Стали с высоким содержанием хрома широко применяются в промышленном секторе в качестве материалов для деталей и конструкционных узлов, работающих в условиях агрессивных сред. Этот класс сталей обладает высокой коррозионной стойкостью, но низкая микротвёрдость и износостойкость сильно ограничивают область их применения [1]. Для повышения функциональных свойств изделий из сталей часто применяют физические и химико-термические методы обработки поверхности, среди которых особо выделяются методы нанесения покрытий [2]. Ввиду большого разнообразия осаждаемых материалов, возможно получение плёнок с необходимыми механическими, защитными, барьерными и другими свойствами. Однако серьёзная проблема состоит в адгезионной прочности осаждаемых покрытий, для достижения которой обязательно требуется предварительная обработка изделий, напр., ионная бомбардировка в инертной среде. Немаловажным фактором оказывается влияние разницы между механическими свойствами наносимого покрытия и материала подложки, ввиду которой может быть сильно снижена адгезия. Существенно улучшить межфазную адгезию возможно, изменив механические параметры поверхности материала перед осаждением на него покрытия. Для этого можно использовать методы вакуумного ионно-плазменного азотирования, напр., с использованием плазмы высокочастотного (ВЧ) разряда [3]. Комбинация процессов азотирования и последующего нанесения покрытия – дуплексная технология обработки поверхности. Цель настоящей работы – определить роль параметров ВЧ азотирования на адгезионную прочность осаждаемых покрытий при дуплексной технологии обработки.

Експериментальна частина. В качестве материала подложки выбрана сталь марки 40х13. Образцы имеют форму диска с размерами $\varnothing 25 \times 5$ мм². Процесс ионно-плазменного азотирования проводился при температуре 470 °С при давлении 0,8 Па с различной длительностью (10, 20, 40 и 60 мин). В вакуумную камеру подавалась смесь газов (Ar, N₂ и H₂) с общим потоком 102,5 см³/мин в соотношении 5:3:2, соответственно. В процессе ВЧ азотирования на образцы прикладывался потенциал электрического смещения, равный - 80 В. Далее выполнялась бомбардировка поверхности образцов ионами аргона в течение 20 мин при ускоряющем напряжении на ионном источнике, равном 2,5 кВ. Потом происходило трёхэтапное осаждение плёнки CrAlN с помощью магнетронного распыления мишеней из хрома и алюминия в смеси аргона и азота при давлении 0,35 Па. Первый этап - создание металлического подслоя при мощности, подаваемой на Cr мишень, равной 2,5 кВт и потенциале смещения на образце -300 → -50 В. Второй этап - создание градиентного покрытия с постепенным увеличением потока N₂ от 2,3 до 13,5 см³/мин с шагом по времени 2 мин. Третий этап – осаждение CrAlN покрытия.

Результаты исследований. При исследовании кристаллической структуры методом рентгеновской дифракции (рис. 1) в образце, не подвергнутому ВЧ азотированию, обнаружена фаза феррита (α -Fe). В азотированных образцах обнаружены фазы азотистого аустенита (γ _N-Fe), а также твёрдых растворов на базе нитридов железа (ϵ -Fe₂₋₃N и γ' -Fe₄N). Определены фазы нитридов хрома (CrN) и алюминия (AlN), свидетельствующие об их присутствии в осажденном покрытии.

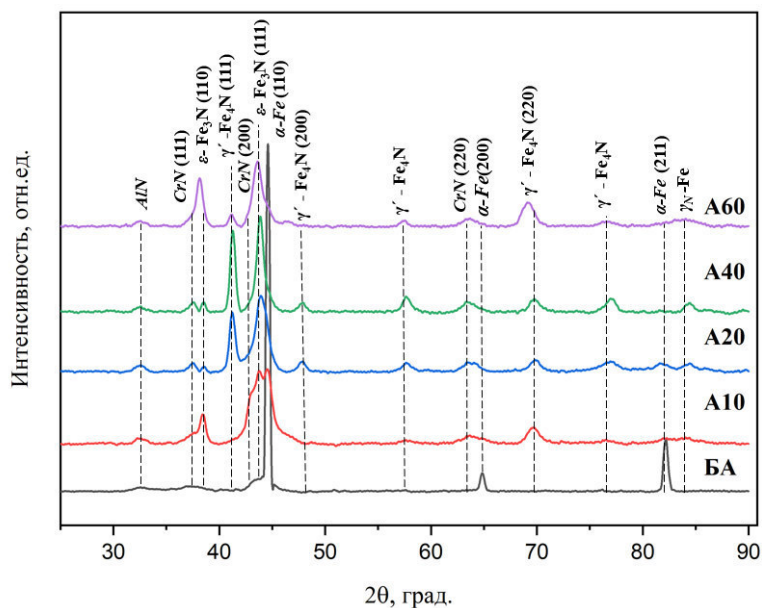


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов из стали 40х13 (БА) без и с азотированием в течение (A10) -10, (A20) – 20, (A40) – 40, (A60) - 60 минут с последующим осаждением CrAlN покрытия

Твёрдость поверхности всех образцов с учётом полученной погрешности приблизительно равна и соответствует значениям, типичным для покрытий типа CrAlN [2] (рис. 2, а). При увеличении нагрузки, подаваемой на индентор (от 10 до 250 мН), прослеживается влияние микротвёрдости подложки на твёрдость осажденного покрытия. Твёрдость осажденной плёнки, полученной на образцах после ВЧ азотирования, практически постоянная. На образце без предварительной обработки при нагрузке 100 мН наблюдается резкий спад твёрдости плёнки до значения, близкого к микротвёрдости стали.

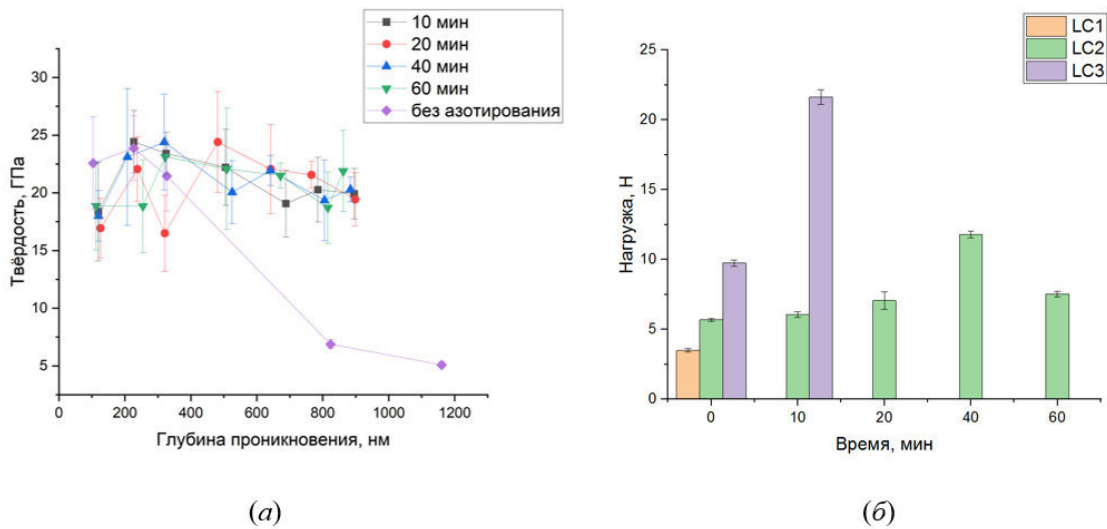


Рис. 2. (а) Зависимость твёрдости поверхности от глубины проникновения индентора при различной длительности ВЧ азотирования образцов. (б) Зависимость адгезионной прочности покрытия от времени ВЧ азотирования: LC1- нагрузка при образовании первой трещины в покрытии; LC2 – нагрузка, при которой происходит скалывание покрытия; LC3 – нагрузка, когда происходит отслоение покрытия)

Измерения адгезионной прочности образцов показали влияние длительности ВЧ азотирования. Образец, не подвергавшийся ВЧ азотированию, обладает низкой адгезионной прочностью между осаждённым покрытием и подложкой, наблюдается растрескивание, скол и отслоение покрытия (рис. 2, б). При применении ВЧ азотирования и увеличении его длительности увеличивается нагрузка, при которой происходит растрескивание покрытия, что объясняется увеличением несущей способности поверхностного слоя стали, полученной в результате ВЧ азотирования [4].

Заключение. В результате дуплексной обработки поверхности стали 40x13 получено, что предварительное ВЧ азотирование способствует улучшению адгезионной прочности покрытия CrAlN.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Golański G., Purzyńska H. Effect of service on microstructure and mechanical properties of Nb-stabilised austenitic stainless steel // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 2022. – V. 195. – С. 104574.
- Wang Y.X. et al. Influence of bias voltage on the hardness and toughness of CrAlN coatings via magnetron sputtering // Surface and Coatings Technology. – 2012. – V. 206 (24). – P. 5103-5107.
- Сиделёв Д.В., Воронина Е.Д., Кожина О.И., Грудинин В.А., Столбовская Г.Н., Азотирование стали 40x13 в индуктивно-связанной плазме: влияние потенциала смещения // Успехи прикладной физики. – 2022. – *отправлено в печать*.
- Das K. et al. Influence of pretreatment on surface behavior of duplex plasma treated AISI H13 tool steel // Surfaces and Interfaces. – 2017. – V. 8. – P. 206-213.