

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ДУПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ

Ашихмин Д.А., Воронина Е.Д., Сиделёв Д.В.
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: daa39@tpu.ru

В настоящее время одним из перспективных способов повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости инструментов, используемых в агрессивных средах, является нанесение на их поверхность функциональных покрытий. К таким покрытиям относят плёнки на основе углерода (DLC), которые обладают целым комплексом уникальных свойств, таких как высокая химическая стабильность, низкий коэффициент трения и высокая твердость [1]. Для того чтобы покрытие обладало требуемыми эксплуатационными свойствами, необходимо обеспечить высокую адгезионную прочность между покрытием и инструментом (подложкой), которая определяется структурными и механическими свойствами подложки. Наиболее распространенными материалами подложки являются стали, используемые для изготовления режущих инструментов, деталей трения, качения и скольжения из-за их относительно низкой стоимости и хорошей коррозионной стойкости, особенно хромистые стали [2]. Тем не менее, значительная разница между механическими свойствами сталей и DLC покрытий приводят к низкой адгезии последних, что является причиной снижения эксплуатационных свойств конечных изделий. Чтобы решить эту проблему, перед нанесением покрытия материалы изделий часто обрабатывают дополнительными методами, такими как бомбардировка электронными и ионными пучками, термообработка, газовое или плазменное азотирование [3]. Среди них плазменное азотирование является наиболее распространенным методом модификации сталей, поскольку оно отличается своей экологичностью процесса и управляемостью. Уже известно, что DLC покрытия, нанесенные на предварительно азотированную сталь, демонстрируют лучшие показатели износостойкости и коррозионной стойкости, а также адгезионной прочности между покрытием и подложкой по сравнению со свойствами покрытий, нанесенных на необработанную сталь [4]. Однако в литературе отсутствует информация о влиянии продолжительности плазменного азотирования нержавеющей стали на свойства изделий с DLC покрытием. Таким образом, целью данной работы является изучение влияния длительности плазменного азотирования на структуру и функциональные свойства стали 12х18н10т после дуплексной обработки. В данной работе в качестве дуплексной обработки стали была использована комбинация высокочастотного плазменного азотирования и последующего импульсного катодно-дугового испарения для нанесения DLC покрытия.

Процесс плазменного азотирования проводился при постоянном давлении рабочей смеси (0,8 Па) и температуре (515 °С). Модифицированный слой на образцах формировался в течение 2, 15 и 60 мин. Рабочая газовая смесь содержала Ar, N₂ и H₂ в соотношении как 2:4:1. DLC покрытия были нанесены методом импульсного катодно-дугового испарения на установке УВНИИПА-1.1 с частотой следования импульсов 3 Гц, напряжениями накопителя 300 В и поджига дуги 400 В.

На основании базы данных ICDD-4+ в полученных образцах идентифицированы фазы γ -Fe (JCPDS #52-513), γ_N -Fe (JCPDS #75-2129), Fe₄N (JCPDS #83-875) и Fe₂₋₃N (JCPDS #83-232). Рефлексов DLC покрытий обнаружено не было, поскольку такие покрытия обладают аморфной структурой. Выявлено, что увеличение продолжительности высокочастотного плазменного азотирования от 2 мин (DLC-2) до 60 мин (DLC-60) привело к изменению фазового состава азотируемого слоя от раствора азота в железе (γ_N -Fe) до нитридов железа (Fe₂₋₃N и Fe₄N), что обусловлено ростом концентрации азота в поверхностном слое подложки в процессе диффузии.

Морфология поверхности образцов после дуплексной обработки была исследована с помощью трехмерного профилометра, и представлена усредненными параметрами (R_a) и (R_z). Зависимость параметров шероховатости образцов от продолжительности плазменного азотирования представлена на рис. 1.

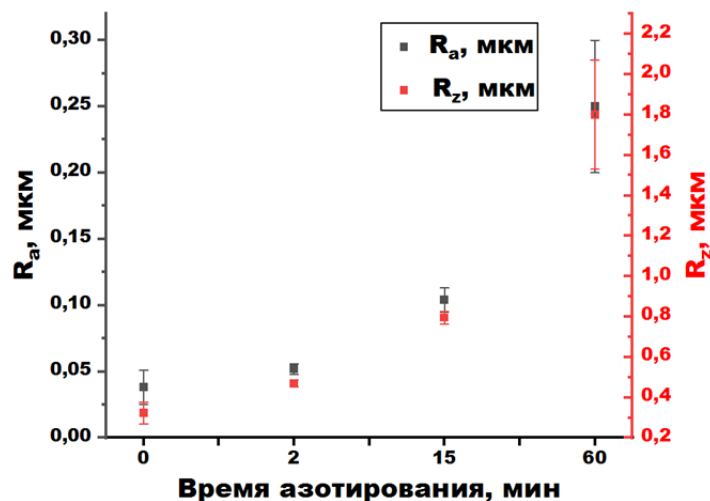


Рис. 1. Значения параметров R_a и R_z образцов, с DLC покрытием, после азотирования в течение 2, 15 и 60 мин. Значение «0» указывает на отсутствие предварительного азотирования

Из рис. 1 видно, что увеличение продолжительности азотирования приводит к изменению параметров шероховатости поверхности образцов. Образец без плазменного азотирования (DLC-0) имел самую гладкую поверхность, значения R_a и R_z составляют 0,04 и 0,32 мкм, соответственно. При применении азотирования в течение 2 мин оба параметра шероховатости поверхности увеличились до 0,05 и 0,47 мкм, соответственно. После 60 мин азотирования параметры R_a и R_z образца DLC-60 были увеличены в ~6 раз и равны 0,25 и 1,8 мкм, соответственно.

Установлено, что износостойкость DLC покрытий зависит от длительности высокочастотного плазменного азотирования (рис. 2).

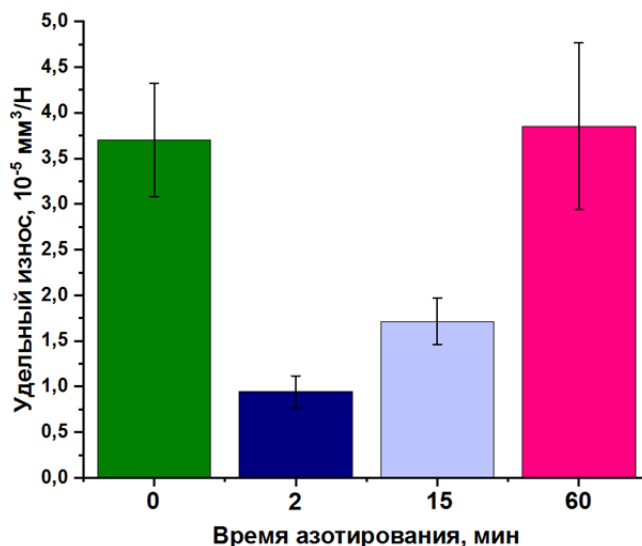


Рис. 2. Зависимость удельного износа DLC покрытий от времени высокочастотного плазменного азотирования стали

Предварительное азотирование в течении 2 мин способствует уменьшению величины удельного износа приблизительно в 4 раза по сравнению с образцом, не подвергшемся азотированию. При длительности азотирования более 60 минут наблюдается снижение износостойкости до исходного уровня, что наиболее вероятно связано с развитием морфологии поверхности в ходе длительной ионной бомбардировки в процессе азотирования.

Таким образом, показано, что путём регулирования длительности высокочастотного плазменного азотирования, возможно значительно улучшить износостойкость поверхности стали. Главным недостатком такого решения является изменение морфологии поверхности в процессе азотирования.

Список литературы

1. Fontaine J., Donnet C., Erdemir A. Fundamentals of the tribology of DLC coatings // Springer. – 2008. – P. 139–154.
2. Davalos R., Wetering J., Krawczyk B. Corrosion Behaviour of Type 316L Stainless Steel in Hot Caustic Aqueous Environments. *Met. Mater. Int.* 26. – 2020. P. 630–640.
3. Tao X., Collins T.J., Liu Q., Dashtbozorg H., Li, X., Dong, H. Active screen plasma nitriding of Fe-24Mn-2Al-0.45C TWIP steel: Microstructure evolution and a synergistic selective oxidation mechanism. *Acta Materialia*. – 2022, 241, 118418. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.118418>.
4. Morand G. Chevallier P. Bonilla-Gameros L. On the adhesion of diamond-like carbon coatings deposited by low-pressure plasma on 316L stainless steel. *Surf Interface Anal.* – 2021, P. 658–671.