

УДК 621.311.22.620

Влияние обработки поверхности ионами аргона на эрозионную стойкость лопаточных сталей

*В. А. Рыженков, В. К. Крайнов, С. И. Погорелов,
Г. В. Качалин, Ю. И. Бубликов*

Московский энергетический институт (Технический университет), Москва, Россия

Представлены результаты исследований влияния обработки ионами аргона поверхности стали 20X13 на процесс эрозионного разрушения при каплеударном воздействии. Экспериментально установлены уменьшение скорости эрозии и увеличение времени инкубационного периода после обработки поверхности стали ионами аргона как с защищенными покрытиями, так и без них.

В последнее время большое число публикаций посвящено модификации поверхностных свойств конструкционных материалов, в результате чего в поверхностных слоях происходят структурные изменения с увеличением, как правило, твердости и микротвердости, повышением их износостойкости при неизменности свойств и структуры более глубоких слоев. Так, хорошо известно о применении мощного пучка протонов с энергией до 1 МэВ для изменения свойств поверхностного слоя Ст3 и нержавеющей стали [1] и об использовании электронного нагрева для формирования боридных слоев на поверхности инструментальной стали [2].

В настоящей работе исследовалось влияние обработки поверхности лопаточной стали ионами инертного газа аргона на процесс ее эрозионного износа при высокоскоростном воздействии капель жидкости.

Методика проведения исследований

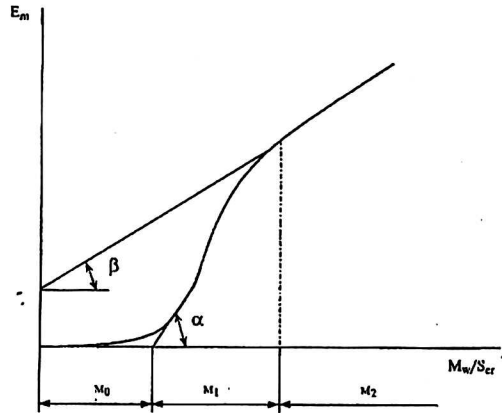
Исследования проводились с хромистой сталью 20X13, широко используемой в турбостроении. Поверхность образцов диаметром 20 мм и высотой 5 мм подвергалась воздействию ионов аргона в ионно-плазменной вакуумной установке с дуговым испарителем [3]. При осуществлении этого процесса образцы размещались в специальном приспособлении, позволяющем подерживать и контролировать их температуру. На первом этапе производился разогрев образцов с помощью электронного нагрева. Затем на них подавалось напряжение смещения относительно катода, при этом поверхность образцов подвергалась воздействию ионов и возбужденных атомов инертного газа аргона, образованных в плазме дугового разряда. Весь процесс протекал при давлении в вакуумной камере установки около $5 \cdot 10^{-2}$ Па.

Эрозионная стойкость образцов определялась на уникальном эрозионном стенде МЭИ (ТУ) [4], который позволяет моделировать различные режимы воздействия капель жидкости на конструкционные материалы и защитные покрытия.

Испытания на стенде проводились следующим образом. Два исследуемых образца укрепляли на концах специальной штанги в вакуумной камере стенда. Затем образцы раскручивали до получения расчетной линейной скорости. Одновременно с этим в вакуумную камеру подавали монодисперсный поток капель жидкости, в качестве которой использовался конденсат турбины дей-

ствующей ТЭЦ МЭИ (ТУ). В результате многократных ударов капель жидкости о поверхность образцов происходило их эрозийное разрушение. Параметры соударения — скорость образцов 250 м/с и размеры капель 800 мкм — поддерживались неизменными весь период испытаний, варьировалась только продолжительность эксперимента. По окончании испытаний измерялись потери массы образцов и площади поверхностей, подвергшихся эрозии. В результате испытаний серии образцов получили кинетические кривые эрозии, определяющие зависимость средней глубины эрозийного износа (E_m , м) от массы жидкости (M_w , кг), попавшей на единицу эродированной поверхности (S_{er} , м²). Типичная кривая эрозии металла приведена на рис. 1.

Рис. 1. Типичная кривая кинетики эрозии металлов при каплеударном воздействии



Процесс эрозийного разрушения металлических поверхностей характеризуется тремя основными периодами [5]: инкубационным (скрытым) периодом (M_0), периодом с максимальной скоростью эрозии (M_1) и периодом с установившейся скоростью эрозии (M_2). Скорости эрозии — максимальная (E'_m) и установившаяся ($E'_{уст}$) определяются тангенсами углов наклона α и β соответствующих участков кривой эрозии.

Результаты исследований

На рис. 2 представлены кривые эрозии стали 20X13 до (1) и после (2) ионной обработки ее поверхности.

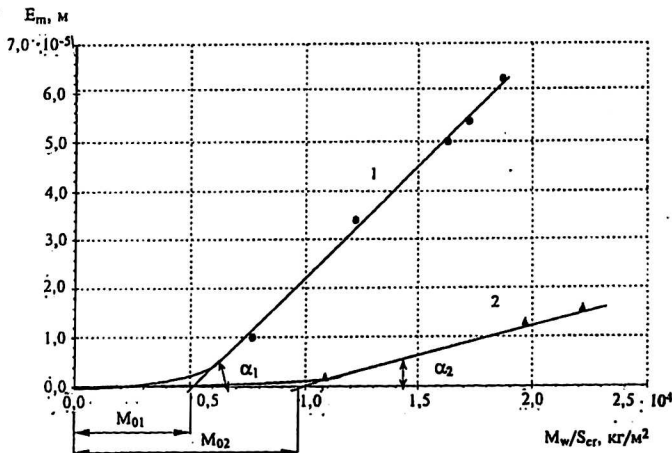


Рис. 2. Зависимость средней глубины эрозийного износа лопаточной стали 20X13: 1 — без обработки поверхности; 2 — с обработкой поверхности ионами аргона

Анализ показывает, что весьма значительно влияние обработки поверхности исследуемых образцов ионами аргона на протекание процесса эрозионного разрушения. Инкубационный период у стали (M_{02}), прошедшей обработку, увеличился в 1,6 раза по сравнению с такой же характеристикой стали без ее обработки. Еще большее влияние оказывает воздействие ионов аргона на скорость эрозии ($E'_m \sim \text{tg}\alpha$, $E_{\text{уст}} \sim \text{tg}\beta$). В рамках настоящих исследований, в частности, зафиксировано уменьшение максимальной скорости эрозии более чем в три раза.

Вышеприведенные результаты коррелируют с результатами склерометрических испытаний исследуемых образцов, проведенных по методике, описанной в работе [6]*, а также с результатами измерения твердости исходных образцов и образцов, обработанных ионами аргона. Склерометрические испытания проводились при глубине внедрения сферического индентора 5 мкм.

Результаты склерометрических испытаний и измерений твердости поверхности приведены в таблице.

Результаты склерометрических испытаний и определения твердости стали 20X13

Номер образца	Максимальное усилие царапания P_u^m , Н	НВ
1	31,5	164
2	26	153
3	33,5	168
4	27	157
5	30	164
6	26	157

Все образцы, приведенные в таблице, с нечетными номерами проходили обработку ионами аргона, а с четными — являлись “свидетелями” при проведении эрозионных испытаний. Из данных следует, что после обработки поверхности ионами аргона наблюдается упрочнение поверхностного слоя и некоторое увеличение твердости.

В рамках настоящих исследований была также определена эрозионная стойкость лопаточной стали с износостойкими покрытиями из нитрида титана толщиной 9 мкм, поверхность которой предварительно обрабатывалась ионами аргона (рис. 3). На рис. 3 показана кривая эрозия стали с защитными

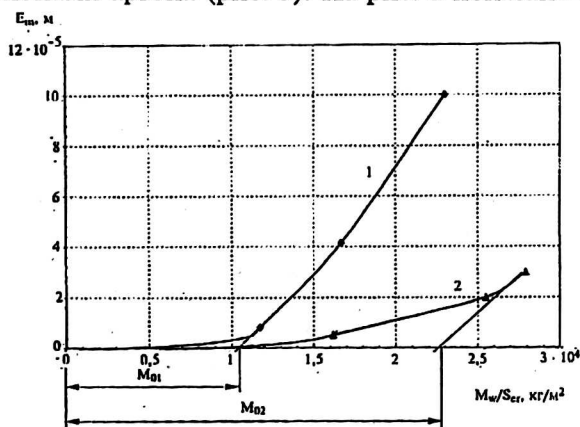


Рис. 3. Зависимость средней глубины эрозионного износа лопаточной стали 20X13 с защитными покрытиями: 1 — 9 мкм TiN; 2 — 9 мкм TiN, с предварительной обработкой поверхности ионами аргона

* Исследования выполнены на кафедре “Технологии металлов” МЭИ (ТУ) под руководством заведующего кафедрой д-ра техн. наук, проф. В. М. Матюнина.

покрытиями из нитрида титана без предварительной обработки поверхности ионами аргона. Анализ приведенных зависимостей показывает, что в случае предварительного воздействия ионов аргона на поверхность стали эрозионная стойкость формируемых покрытий существенно повышается, в частности инкубационный период увеличивается более чем в два раза, а величина максимальной скорости эрозии уменьшается более чем в три раза.

Таким образом, обработка поверхности лопаточной стали ионами аргона приводит к значительному повышению эрозионной стойкости стали как с защитными покрытиями, так и без них. Полученные результаты являются основанием для более глубокого исследования этого факта в целях разработки технологии повышения ресурса наиболее ответственных элементов оборудования электрических станций.

Л и т е р а т у р а

1. Погребняк А. Д., Лебедь А. Г., Ильяшенко М. В., Ренк Т., Михлев А. Д., Иванов Ю. Ф. Модификация структуры стали Ст. 3 и нержавеющей стали Fe-Cr-Ni-Mn под действием мощного ионного пучка//ВАНТ.1999. № 2(10). С. 65—70.

2. Семенов А. П., Смирнягина М. Н., Сизов И. Г., Коробков Н. В., Целовальников Б. И., Огурцов А. М. Обработка поверхности стали электронным пучком и формирование боридных слоев: Тр. третьего междунар. симпозиума "Вакуумные технологии и оборудование". — Харьков, 1999. С. 101—106.

3. Рыженков В. А., Нестеров С. Б., Позорелов С. И., Бубликов Ю. И., Качалин Г. В., Бодров А. А., Бокарев И. Е. Исследование износостойкости защитных покрытий на основе нитрида титана: Тр. шестой науч.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника". — г. Гурзуф, 1999. С. 47—50.

4. Нестеров С. Б., Рыженков В. А., Бодров А. А., Степанов В. А. Формирование защитных покрытий в целях повышения износостойкости энергетического оборудования: Тр. Украинского вакуумного общества. Т. 2. С. 125—131.

5. Stanisa B., Povarov O. A., Rigenkov V. A. Osnoval zakonitosti erosija materiyala lopaticharnih turbina pri sudaronjius Vodenim Karpljicama//Strojstvo. 1985. № 6. P. 313—318.

6. Матюнин В. М., Волков П. В., Бусуркин Д. В. Испытания материалов цапапаньем// Технология металлов. 2000. № 2. С. 27—30.

Surface processing influence by argon ions on erosive resistance

V. A. Rigenkov, V. K. Krainov, S. I. Pogorelov,
G. V. Kachalin, Y. I. Bublikov

Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Moscow, Russia

The researches outcomes of influence of processing by an argon ions of surface of blades of the steam turbines on process of erosive destruction in their high-speed interaction are represented. The diminution of erosion velocity is marked and magnification of time of incubation period after processing a surface become an argon ions. The researches outcomes of erosive resistance of steel with protective ion plasma covers are resulted.