

DOI: 10.15593/2224-9877/2015.3.05

УДК 5433; 5434

**Е.С. Платонова**

Карагандинский государственный технический университет,  
г. Караганда, Казахстан

## **ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

В настоящее время в условиях ограниченности материальных средств в промышленном комплексе особое значение приобретают технологии, увеличивающие долговечность (ресурс) деталей и узлов машин. 90 % деталей и машин выходит из строя из-за поверхностного износа. Особенно это актуально для горнодобывающего и нефтегазопромыслового оборудования, оборудования энергетического комплекса, где большинство механизмов работают в экстремальных условиях и, в частности, в условиях высокого абразивного износа и высоких температур.

Наиболее актуальными и перспективными для получения наноструктурированных упрочняющих, износостойких, коррозионно- и жаростойких покрытий являются вакуумные ионно-плазменные методы: магнетронного распыления, ионного и вакуумно-дугового осаждения. Это связано с тем, что кроме термического фактора появляются и другие: высокая степень ионизации, плотность потока и энергия частиц. Качество покрытия можно регулировать путем изменения температуры подложки, давления рабочего газа, потенциала подложки и других технологических параметров.

В Казахстане не выпускают специальных сталей для изготовления большинства деталей механизмов и машин тепловых электростанций, горнодобывающих, машиностроительных и металлургических предприятий, предприятий химической промышленности и сельского хозяйства. Предлагаемые инновационные технологии ионно-пучковой обработки придают изделиям из простых марок сталей, которые производятся в Казахстане, эксплуатационные характеристики, не уступающие изделиям из спецсталей. Из экспериментальных данных следует, что покрытия Fe-Al и Fe-Al-Ti могут быть использованы как коррозионностойкие, жаропрочные, антифрикционные покрытия на низкосортные сорта стали, увеличивая срок службы деталей из этих сталей в 3–4 раза. Поскольку покрытия имеют толщину 4–6 мкм, то экономический эффект использования таких покрытий на деталях из низкосортных марок стали очевиден.

**Ключевые слова:** покрытия, коррозия, композиционные катоды, плазма, износостойкость, коррозионная стойкость, жаростойкость, надежность, долговечность, горношахтное оборудование.

**E.S. Platonova**

Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan

## **IMPROVED CORROSION RESISTANCE MACHINE PARTS**

Currently, with limited material resources in the industrial complex are particularly important technologies that increase the durability (life) of parts and units of machines. 90% of parts and machines out of order due to surface wear. This is especially true for the mining and oil field equipment, equipment and energy complex, where the majority of mechanisms operate in extreme conditions, and in particular, in a high abrasion and high temperatures.

The most relevant and promising to produce nanostructured hardening, wear-resistant, corrosion-resistant and heat-resistant coatings are vacuum ion-plasma methods: magnetron sputtering, ion and vacuum arc deposition. This is due to the fact that in addition there are thermal factors and other – the high degree of ionization, the flux density and particle energy. The quality of the coating can be adjusted by changing the substrate temperature, pressure of the working gas, the potential of the substrate and other process parameters.

Kazakhstan does not produce special steels for the manufacture of most mechanical parts and machines for thermal power stations, mining, engineering and metallurgical enterprises, chemical industry and agriculture. Offers innovative technology of ion-beam treatment gives the product of simple steels, which are produced in Kazakhstan, the performance that rivals products from special steels. The experimental data shows that the coatings and the Fe–Al, Fe–Al–Ti can be used as corrosion-resistant, anti-friction coatings on low-grade steels, by increasing the service life of these parts in steel 3–4 times. Since the coating has a thickness 4–6 mm, the economic effect of the use of such coatings on the details of the low-grade steels obvious.

**Keywords:** coatings, corrosion, composite cathodes, plasma, wear resistance, corrosion resistance, heat resistance, reliability, durability, mining equipment.

## Введение

В XXI в. высокие темпы развития промышленности, интенсификация производственных процессов предъявляют высокие требования к надежной эксплуатации технологического оборудования и строительных конструкций. Особое место в комплексе мероприятий по обеспечению бесперебойной эксплуатации оборудования отводится надежной защите его от коррозии и износа [1–5]. Защита от коррозии является на протяжении многих лет одной из актуальных проблем, имеющих большое значение для промышленности и народного хозяйства.

Для сокращения расходов металла, повышения надежности и долговечности деталей машин и оборудования имеются только два пути:

- 1) применение специальных сталей и сплавов;
- 2) нанесение покрытий на изделия при их изготовлении или ремонте.

Поскольку производство специальных сталей и сплавов связано с расходом особо дефицитных и дорогостоящих материалов и компонентов, то во всех промышленно развитых странах не увеличивают выпуск специальных сталей и сплавов, а используют самые совершенные технологии для нанесения покрытий и упрочнения деталей.

## Покрyтия Al–Fe и Al–Fe–Ti

На рис. 1 и 2 показаны электронно-микроскопические (ЭМ) изображения покрытий Al–Fe–Ti в среде аргона и азота. В первом случае средний размер зерна титана, окруженного аморфной оболочкой, со-

ставляет 100–150 нм. Такие покрытия называют субмикрористаллическими [6]. Во втором случае идет образование в основном нитридов титана и железа. Размер зерна составляет около 50 нм. Такие покрытия называют нанокристаллическими [6].

Азотирование покрытия Al–Fe приводит к изменению его структуры за счет образования нитридных фаз (рис. 3).

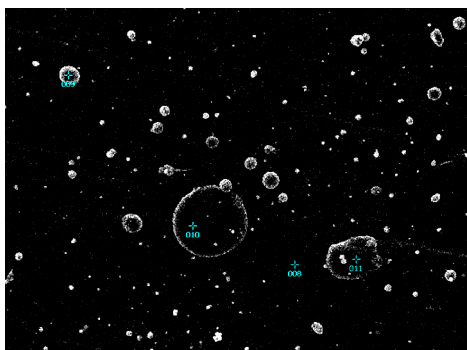


Рис. 1. ЭМ-изображение покрытия Al–Fe–Ti в среде аргона

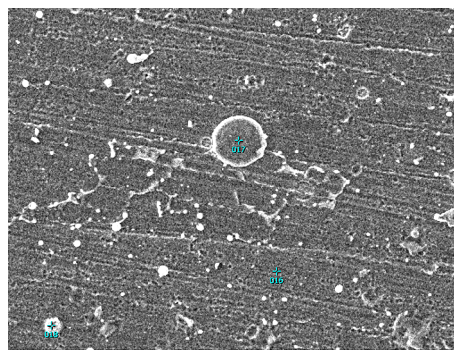
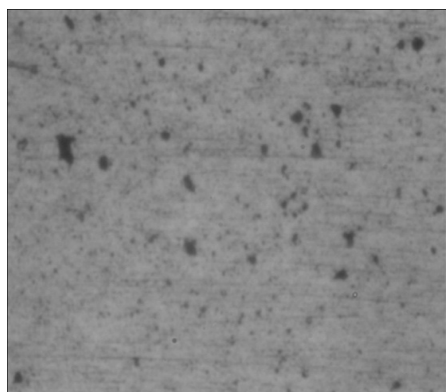
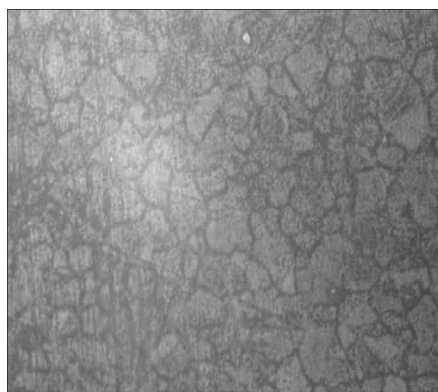


Рис. 2. ЭМ-изображение покрытия Al–Fe–Ti в среде аргона



*a*



*б*

Рис. 3. Снимки покрытия Al–Fe до (*a*) и после (*б*) азотирования

Изменяются и трибологические свойства покрытий. Микротвердость покрытия Al–Fe до азотирования равна 245,6 МПа, а после азотирования – 350,9 МПа, т.е. увеличивается почти в 1,5 раза. Несмотря на образование твердых нитридных фаз, коэффициенты трения после азотирования уменьшаются (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты трения покрытия Al–Fe до и после азотирования

Покрытие	Коэффициент трения покрытия	
	Медная пластина	Алюминиевая пластина
Al–Fe до азотирования	0,282	0,327
Al–Fe после азотирования	0,194	0,206

Легирование покрытия Al–Fe титаном приводит к увеличению коэффициентов трения (табл. 2). Однако и в этом случае образование нитридных фаз сопровождается, хоть и незначительным, но уменьшением коэффициентов трения.

Таблица 2

Коэффициенты трения покрытий Al–Fe–Ti

Покрытие	Коэффициент трения	
	Алюминиевая пластина	Медная пластина
Al–Fe–Ti в среде аргона	0,344	0,255
Al–Fe–Ti в среде азота	0,317	0,230

Результаты исследования на жаростойкость покрытий Al–Fe и Al–Fe–Ti представлены в табл. 3. Жаростойкость оценивалась по массе окисленного покрытия.

Таблица 3

Потеря массы покрытия после термической обработки при 600 °С в течение 100 ч

№ п/п	Покрытие	Масса окислившегося покрытия, мг
1	Сталь 35 без покрытия	56,8
2	Fe–Al	14,2
3	Fe–Al–Ti (аргон)	15,4
4	Fe–Al–Ti (азот)	11,2

Легирование покрытия Al–Fe титаном незначительно влияет на его жаростойкость. Однако синтезированные покрытия значительно увеличивают жаростойкость, по сравнению с образцом без покрытия примерно в 4 раза.

Нитрид железа в форме нитрида тетражелеза Fe<sub>4</sub>N образуется в вакууме при температуре 440–550 °С. Его микротвердость лежит в пределах 8,2–8,9 ГПа. Нитрид алюминия образуется при азотировании при довольно высокой температуре – более 800 °С. Учитывая, что

температура подложки в наших экспериментах была равной примерно 450 °С, образование нитридов алюминия маловероятно. Согласно данным РФЭС, содержание железа в покрытии составляет около 40 %. Образование нитридов железа после азотирования напыленного слоя приводит к увеличению микротвердости покрытия.

Из приведенных выше данных по коэффициентам трения, микротвердости, жаростойкости следует, что полученные покрытия Fe–Al и Fe–Al–Ti могут быть использованы как коррозионностойкие, жаропрочные, антифрикционные покрытия на низкосортные сорта стали, увеличивая срок службы деталей из этих сталей в 3–4 раза. Поскольку покрытия имеют толщину 4–6 мкм, экономический эффект использования таких покрытий на деталях из низкосортных марок стали очевиден.

Агрессивные свойства шахтных вод связаны с наличием серы, сульфатов железа, магния, алюминия и др. в угольной массе. Это характерно для всех угольных бассейнов мира, включая и Карагандинский угольный бассейн.

Откачка шахтных вод из горных выработок приводит к коррозии металлических частей насосов, трубопроводов, арматуры и т.д.

В табл. 4 приведены характеристики коррозионной стойкости исследованных в настоящей работе покрытий на некоторых деталях горношахтного оборудования. Здесь коэффициент  $K$  определяется методом анодного поляризационного инициирования дефектов и изменяется от  $K = 0$  (для плохих покрытий) до  $K = 1$  (для качественных покрытий).

Таблица 4

#### Характеристики различных покрытий

Наименование детали	Антикоррозионное покрытие	Коэффициент $K$
Сталь 35	Без покрытия	0,14
Ниппель 12, Ст. 35	Fe–Al	0,47
Муфта 12 с, Ст. 35	Fe–Al	0,54
Пробка ГВУ 30.002 Ст. 35	Fe–Al–Ti	0,69

#### Заключение

Поскольку толщина ионно-плазменных покрытий составляет от 4 до 6 мкм, то становится очевидным, что нанесение многоэлементных покрытий типа перечисленных выше, например на сталь 45, экономически более выгодно, чем использование дорогостоящих жаростойких сталей и сплавов.

### Список литературы

1. Коррозия и защита металлов. Ч. 1. Химическая коррозия металлов / Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неклюдов, П.И. Стоев. – Харьков: Изд-во Харьк. нац. ун-та, 2007. – 187 с.
2. Strutt I.E., Nicholls J.R. and Barbier B. The prediction of corrosion by statistical analysis of corrosion profiles // *Corrosion science*. – 1985. – Vol. 25, № 5. – P. 305–316.
3. Provan J.W., Rodriguez E.S. Development of a Markov description of pitting corrosion. – *Corrosion*. – 1989. – Vol. 45, № 3. – P. 178–192.
4. Baroux B. The kinetics of pit generation on stainless steel // *Corrosion Science*. – 1988. – Vol. 28, № 10. – P. 969–986.
5. Kondo J. Prediction of fatigue crack initiation life based on pit growth // *Corrosion Science*. – 1989. – Vol. 45, № 1 – P. 7–11.
6. Решетняк Е.Н., Стрельницкий В.Е. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2008. – № 2. – С. 119–130.

### References

1. Azarenkov N.A., Litovchenko S.V., Nekliudov I.M., Stoev P.I. Korroziia i zashchita metallov. Chast' 1. Khimicheskaiia korroziia metallov [Corrosion and protection of metals. Part 1. Chemical corrosion me-metals]. Khar'kovskii natsional'nyi universitet imeni V.N. Karazina, 2007. 187 p.
2. Strutt I.E., Nicholls J.R. and Barbier B. The prediction of corrosion by statistical analysis of corrosion profiles. *Corrosion Science*, 1985, vol. 25, no. 5, pp. 305-316.
3. Provan J.W., Rodriguez E.S. Development of a Markov description of pitting corrosion. *Corrosion (USA)*, 1989, vol. 45, no. 3, pp. 178-192.
4. Baroux B. The kinetics of pit generation on stainless steel. *Corrosion Science*, 1988, vol. 28, no. 1, pp. 969-986.
5. Kondo J. Prediction of fatigue crack initiation life based on pit growth. *Corrosion Science*, 1989, vol. 45, no. 1, pp. 7-11.
6. Reshetniak E.N., Strel'nitskii V.E. Sintez uprochniaiushchikh nanostrukturnykh pokrytii [Synthesis of hardening of nanostructured coatings]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki*, 2008, no. 2, pp. 119-130.

Получено 29.06.2015

### **Об авторе**

**Платонова Елена Сергеевна** (Караганда, Казахстан) – магистр технических наук, кафедра «Технология машиностроения» Карагандинского государственного технического университета; e-mail: danilina1969@list.ru.

### **About the author**

**Elena S. Platonova** (Karaganda, Kazakhstan) – Master of Engineering, Department “Engineering Technology”, Karaganda State Technical University; e-mail: danilina1969@list.ru.