

## Формирование нано- и микроразмерных образований при электролитно-плазменной обработке аустенитной нержавеющей стали

Чиркунова Н.В.<sup>1,†</sup>, Воленко А.П.<sup>1</sup>, Чуркин В.К.<sup>2</sup>, Сафаров И.М.<sup>3</sup>, Мулюков Р.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тольяттинский государственный университет, Тольятти

<sup>2</sup>Тольяттинский филиал Самарского государственного аэрокосмического университета, Тольятти

<sup>3</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа

<sup>†</sup>natchv@yandex.ru

## Formation of nano- and micro-sized structures during electrolytic-plasma treatment of austenitic stainless steel

N.V. Chirkunova<sup>1,†</sup>, A.P. Volenko<sup>1</sup>, V.K. Churkin<sup>2</sup>, I.M. Safarov<sup>3</sup>, R.R. Mulyukov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Togliatti State University, Togliatti

<sup>2</sup>Togliatti Branch of Samara State Aerospace University, Togliatti

<sup>3</sup>Institute of Metals Superplasticity Problems, Ufa

Проанализированы технологические возможности электролитно-плазменной обработки. Представлены результаты многоэтапной электролитно-плазменной полировки аустенитной нержавеющей стали.

**Ключевые слова:** электролитная плазма; электролитно-плазменная обработка; электролитно-плазменное полирование; аустенитная нержавеющая сталь; шероховатость

The technological capabilities of electrolytic-plasma treatment are analyzed. The results of a multi-stage electrolytic-plasma polishing of austenitic stainless steel are presented.

**Key words:** electrolytic plasma; electrolytic-plasma treatment; electrolytic-plasma polishing; austenitic stainless steel; roughness

### 1. Введение

Разработка новых экологически чистых технологий, направленных на совершенствование традиционных и создание новых методов воздействия на поверхность для придания ей требуемых условиями эксплуатации свойств, бесспорно, одна из актуальных задач современной науки и техники. В последнее время проявляется значительный интерес к электролитно-плазменной обработке (ЭПО), основанной на электроразрядных явлениях в системе «металл-электролит».

Сущность процесса ЭПО состоит в следующем. При малых напряжениях в электролитической ячейке, содержащей водный раствор электролита, наблюдается классический электрохимический процесс. С повышением напряжения происходит переход от пузырькового режима кипения к плёночному, и вокруг погружённого в электролит активного электрода возникает устойчивая тонкая (толщиной 50-100 мкм) парогазовая оболочка (ПГО), через которую протекают микроразряды. В ПГО протекает сложный комплекс физико-химических процессов: пленочное кипение в электрическом поле, теплоперенос, ионизация паров и движение электрических

зарядов. Микроразряды мигрируют по поверхности изделия и являются рабочим инструментом [1].

ЭПО при соответствующем выборе электролита и режимов обработки позволяет проводить электролитно-плазменное полирование (ЭПП) поверхности токопроводящего электрода-анода. В традиционных способах электрохимического полирования применяют многокомпонентные электролиты на базе агрессивных и сильно токсичных кислот (серной, ортофосфорной, соляной и др.) с рабочей температурой близкой к кипению, с добавлением поверхностно-активных веществ и других экологически опасных компонентов [2]. Основное преимущество ЭПП то, что в отличие от традиционной электрохимической полировки при этом методе процесс сглаживания микрорельефа осуществляется в экологически безопасных водных растворах минеральных солей. С помощью ЭПП можно получить зеркальную поверхность с шероховатостью вплоть до 40 нм, однако не лучше, чем на 2-3 класса по сравнению с тем, что было до полировки. Физико-химический механизм процесса ЭПП достаточно сложен и мало изучен, так что на сегодняшний день нет единого мнения о механизме сглаживания микронеровностей, что затрудняет разработку

Таблица 1.

Технологические режимы ЭПП.

Режим обработки	Состав электролита (водный раствор)	Температура электролита, °С	Рабочее напряжение, В
1	5% (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> азотнокислый аммоний	85-90	270
2	12% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (углекислый натрий)	85-90	210
3	5% (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +0,05% HCl (соляная кислота)	40-50	270

Таблица 2.

Химический состав стали, использованной для исследований.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Марка стали
0,0573	0,548	1,11	0,009	0,0005	17,51	9,21	0,34	08X18H10T

Таблица 3.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа полированной поверхности.

Спектр	Al	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	Ti	Итого, весовые %
Спектр 1	0,41	0,26	0,35	7,27	1,78	18,48	71,46	100
Спектр 2	0,11	0,6	1,3	18,44	8,72	70,51	0,31	100

технологических процессов с применением этого метода и установлении режимов работы оборудования [3].

Целью данной работы было исследование влияния исходного состояния стали 08X18H10T и поэтапной полировки на качество ЭПП.

## 2. Методика проведения исследований

Объектами исследования являлись образцы, приготовленные из листовой стали 08X18H10T размером 50×10×2 мм, прошедшие ЭПО в течение 6 минут по режимам (см. табл. 1) на установке для электролитно-плазменной полировки.

Химический состав образцов в состоянии поставки, определенный с помощью атомно-эмиссионного спектрометра «Спектролаб - MS», приведен в табл. 2.

Микроструктуру образцов изучали, используя оптический микроскоп POLYVAR MET фирмы Reichert (Австрия) с цифровой камерой «Sony». При проведении металлографического микроанализа шлифы после полировки (паста двуокиси хрома) для определения микроструктуры и выявления наличия включений травили в реактиве, содержащем 25 г хлорного железа, 50 мл соляной кислоты, 120 мл воды.

Элементный состав различных участков поверхности исследовался на растровом электронном микроскопе с

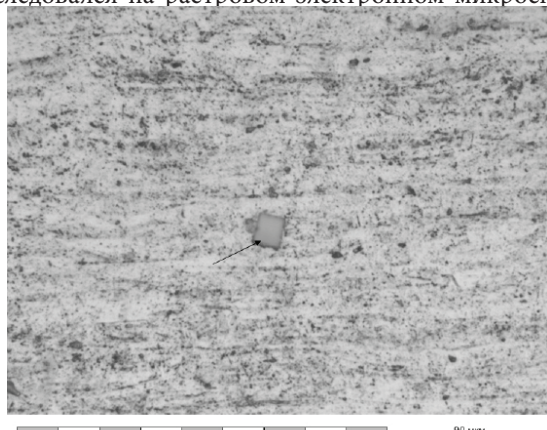


Рис. 1 Микроструктура - аустенит, карбонитриды титана (указаны стрелкой).

приставкой энергодисперсионного микроанализа Tescan Vega3. Спектры снимались с участков поверхности, содержащих и не содержащих образования. Топологию поверхности образцов до и после обработки изучали с помощью атомно-силовой микроскопии (NT-MDT Solvor P47H-PRO) и лазерного микроскопа. При определении шероховатости Sa средняя высота микронеровностей определялась после сканирования с площади 1223×1221 мкм. При определении шероховатости Ra сканирование проводилось на той же площади по трем вертикальным и трем горизонтальным линиям, расположенных на расстоянии 300 мкм. Исходная шероховатость поверхности образцов Sa-0,209 мкм; Ra-0,192 мкм.

## 3. Результаты исследований

Металлографические исследования образцов показали, что микроструктура исходных образцов представляет собой аустенит с отдельными и сгруппированными включениями нитридов и карбонитридов титана Ti (C, N) с размером до 10 мкм (рис. 1).

Исследования топологии поверхности образцов после ЭПП с помощью АСМ и лазерного микроскопа позволили обнаружить дефекты в виде царапин, границы

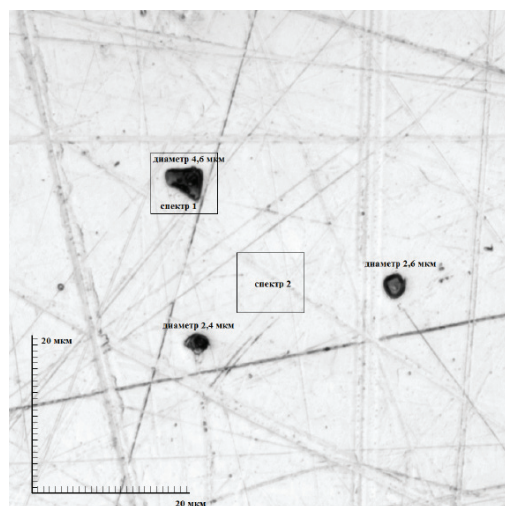
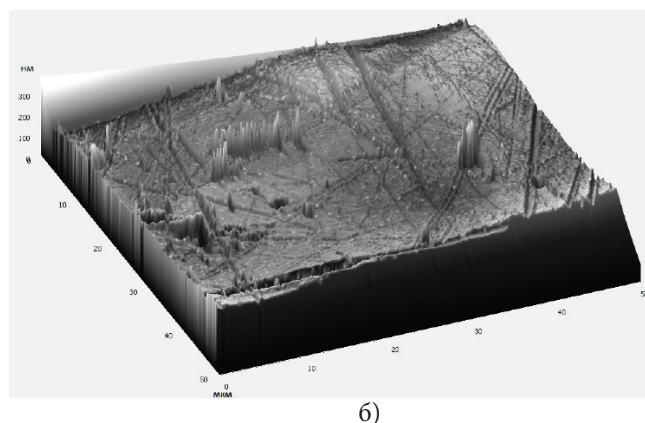
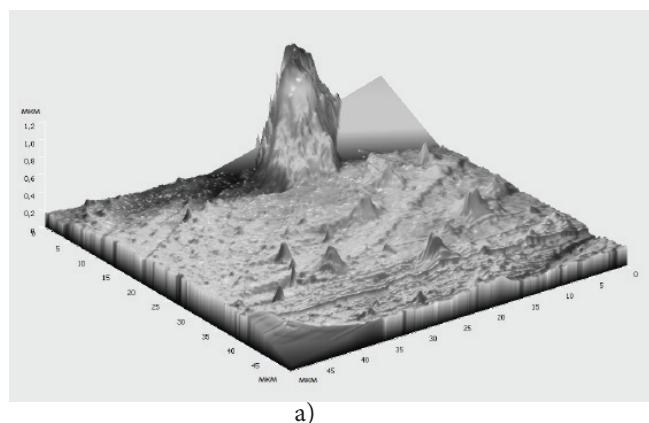


Рис. 2. Лазерная микроскопия-топология поверхности.



**Рис. 3.** Топология поверхности после полировки: а) в течение 6 минут по режиму 1; б) в течение 2 минут по режиму 3, 2 минут по режиму 2 и 2 минут по режиму 1.

аустенитных зерен, небольшое количество крупных образований размером до  $9,6 \times 8,2$  мкм в поперечнике и мелкие образования размером до нескольких десятков нанометров (рис. 2, 3).

Исследования с помощью лазерного микроскопа показали, что крупные образования имеют высоту до 1,5 мкм, располагаются по поверхности неравномерно и территориально занимают менее 1% поверхности (рис. 3 а). Растровый элементный анализ крупных образований на полированной поверхности показал, что эти образования содержат повышенное содержание (до 71,46%) титана (табл. 3, спектр 1). Повышенное процентное содержание титана в островках относительно исходного состояния (табл. 2) и участка поверхности, не содержащего крупные образования (табл. 3, спектр 2), можно объяснить тем, что эти образования и есть, обнаруженные при металлографических исследованиях образцов из нержавеющей стали в стадии поставки. Нитриды и карбонитриды титана при применяемых режимах обработки практически не полируются.

При ЭПП происходит совместное воздействие на поверхность изделия химически активной среды и электрических разрядов.

Есть основания считать, что эффект полирования при ЭПП вызывается суперпозицией физико-химических, тепловых, электрических и гидродинамических процессов. Кроме электрических процессов развития разряда и тепловых процессов образования парогазовой оболочки, имеет место образование химически активных частиц, способствующих эффекту полирования. Парогазовая оболочка состоит из паров воды активированных ионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$  и ионов, входящих в состав электролита.

Состав парогазовой оболочки зависит от состава электролита. В разных электролитах ПГО имеет разный ионный состав. Разные режимы полировки по-разному влияют на шероховатость поверхности. Для расширения технологических возможностей ЭПП и улучшения качества полировки в работе проводилось исследование влияния многоэтапной полировки на шероховатость поверхности. Под многоэтапной полировкой подразумевается последовательная обработка в течение 1-3 минут по режимам 1, 2, 3 (табл. 1) в разной последовательности. В работе сравнивалась шероховатость поверхности образцов, обработанных по режиму 1, широко применяемому

для полировки нержавеющей сталей, и образцов после обработки в разной последовательности по режимам 1, 2, 3 (рис. 3).

Исследования показали, что поэтапная полировка приводит к уменьшению шероховатости и общего числа наноразмерных образований на полированной поверхности. Если после ЭПП по режиму 1 в течение 6 минут шероховатость  $S_a$  уменьшалась от 0,209 до 0,049 мкм,  $R_a$  от 0,192 до 0,041 мкм, то после поэтапной полировки в течение 3 минут по режиму 2 и 3 минут по режиму 3  $S_a$  уменьшалась от 0,209 до 0,042 мкм,  $R_a$  от 0,192 до 0,036 мкм. После полировки в течение 3 минут по режиму 1 и 3 минут по режиму 3  $S_a$  уменьшалась от 0,209 до 0,042 мкм,  $R_a$  от 0,192 до 0,034 мкм. После полировки в течение 2 минут по режиму 3, 2 минут по режиму 2 и 2 минуты по режиму 1  $S_a$  уменьшалась от 0,209 до 0,035 мкм,  $R_a$  от 0,192 до 0,030 мкм. Исходя из полученных результатов, становится очевидным, что применение поэтапной полировки уменьшает шероховатость поверхности в среднем на 21-25% по сравнению с полировкой по одному режиму и позволяет расширить технологические возможности.

#### 4. Заключение

1. Проведенные исследования показали, что, если в исходном состоянии нержавеющая сталь содержит включения нитридов и карбонитридов титана, то они не полируются, остаются на поверхности, ухудшая качество полировки.

2. Использование многоэтапной полировки в различных электролитах позволяет снизить шероховатость обрабатываемой поверхности за счет снижения числа наноразмерных образований.

#### Литература

1. Саушкин Б.П., Атанасянц А.Г. Электроразрядные процессы в технологиях производства Металлообработка, 2006, № 2, С. 10-13.
2. Грипихес С.Я. Электрохимическое полирование. М.: Машиностроение, 1976, 246 с.
3. Ушомирская Л.А., Новиков В.И. Полирование легированных сталей в не токсичных электролитах при высоком напряжении. Металлообработка, 2008, №1, С. 23-25.