

(растрескивание) терморезисторов, вызываемое температурными напряжениями в процессе нагрева электрическим током.

#### Список литературы

1. В. Huybrechts, К. Ishizaki, М. Takata. J. Mater. Sci. -1995.-V. 30. -P. 2463–2474.
2. С. Dewitte, R. Elst, F. Delannay. J. European Ceramic Society. -1994.-Vol. 14. -P. 481–492.
3. В.Н. Шут, А.В. Гаврилов. ИФЖ. -2008. -Т. 81, № 3. -С. 596–601.
4. Р. Supancic. J. Europ. Ceram. Society. -20 (2000). -P. 2009-2024.
5. S.W. Freiman, R.C. Pohanka. J. Am. Ceram. Soc. -1989. -V. 72, № 12. -P. 2258–2263.
6. В.Н. Шут, А.В. Гаврилов. ИФЖ. -2009. -Т. 82, № 5.- С. 981–983.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

**Фомихина И.В.**

*Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, E-mail: ivfom@tut.by*

Процесс электролитно-плазменной обработки (ЭПО) является одним из перспективных методов формирования поверхностей с заданными свойствами. Процесс позволяет проводить очистку и уменьшать шероховатость, формировать диффузионные слои, наносить металлические, керамические и композитные покрытия. При ЭПО происходят структурно-фазовые изменения в поверхностном слое, которые приводят не только к понижению шероховатости, но и влияют на эксплуатационные характеристики обработанных деталей в целом [1 - 3]. Метод ЭПО основан на физико-химических явлениях, протекающих вблизи поверхности электродов, погруженных в водный раствор минеральных солей, при подаче на них высокого напряжения постоянного тока (180–340 В). Применяемые напряжения обеспечивают выделение газообразных продуктов электролиза на поверхности обрабатываемой детали, возникновение электростимулированного пленочного кипения электролита и частичную ионизацию парогазовой оболочки вокруг полируемой детали, которые приводят к комплексному воздействию электрохимических, физических и диффузионных процессов на поверхность детали. В результате этого происходит сьем металла и очистка поверхности от загрязнений и окислов.

Материалом исследования являлись поверхности образцов пластин и цилиндров из стали 12Х18Н10Т в прокатанном состоянии после ЭПО в течение от 0,5 до 20 мин со скоростями гидротоков от 3 до 5 м/с при силе тока 5 А и напряжении 300 В с различной глубиной погружения и пространственной ориентацией в электролите.

На рис. 1 представлено формирование структуры поверхностного модифицированного слоя аустенитной нержавеющей стали с повышенной коррозионной стойкостью методом ЭПО.

Установлено, что при прокатке со степенью деформации 70 % наблюдается ячеистая фрагментация зерен. Стенки фрагментов и ячеек формируются винтовыми и краевыми дислокациями. При ЭПО изменяется дислокационная картина, созданная прокаткой. Происходит дислокационная перестройка с уменьшением плотности дислокаций, дислокационные ансамбли сосредотачиваются на границах ячеек  $\gamma$  – фазы, перемещаясь от границ фрагментов, образуя клубковые структуры внутри фрагментов. Высокоплотная пограничная дислокационная структура трансформируется в менее плотную структуру с единичными или изогнутыми дислокациями преимущественно краевой ориентации, размещающимися по границам ячеек. Микротвердость в

модифицированном слое уменьшается в среднем на 1000 единиц МПа по сравнению с прокатанным состоянием. Толщина поверхностного модифицированного слоя увеличивается от 5 до 30 мкм с увеличением длительности ЭПО. Уменьшается параметр шероховатости до 4 раз, сглаживается шероховатость, затрагивая кристаллографические особенности структуры. В зависимости от кристаллографической ориентации менее дефектные грани зерен сползываются быстрее, на более дефектных наблюдаются остаточные цепочки из выходов краевых дислокаций. При ЭПО в течение 5 минут начинается процесс выявления внутреннего строения зерна в виде фрагментов и процессы рекристаллизации, связанные с зарождением и ростом зерен в направлении перпендикулярном прокатке.

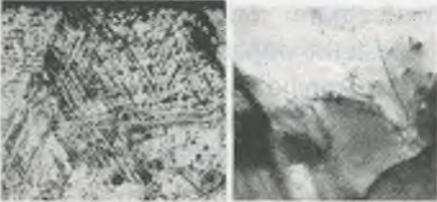
Формирование модифицированной поверхности ЭПО	Структура поверхностного слоя	Свойства стального изделия
<p><b>Исходное состояние</b> (прокатка, волочение)</p>	<p><b>Механизм формирования поверхности</b> - ячеисто-полигональная структура, созданная за счет фазового наклепа стали</p>  <p>x500                      x60000</p> <p><b>Структура</b> - <math>\alpha'</math> - 60-70%, <math>\gamma</math> - 20-30%, <math>\varepsilon</math> - 2-5%</p>	<p>Ra 0,1 – 0,15 мкм; Hv- 3400 МПа; <math>\sigma_B = 1570</math> МПа; <math>\sigma_{0,2} = 1176</math> МПа</p>
<p><b>ЭПО:</b></p> <p><b>Время обработки</b> – 10-15 мин, <b>скорость гидропотоков</b> 3-5 м/с, <b>глубина погружения</b> (в зависимости от размеров и геометрии изделия) 20 – 400 мм, <b>Позиционирование:</b> горизонтальное, вертикальное, под углом 45°, <b>I = 5 А, U = 300В</b></p>	<p><b>Механизм формирования</b> – реализация обратного <math>\alpha'(\alpha) \rightarrow \gamma</math>, <math>\alpha \rightarrow \varepsilon \rightarrow \gamma</math> – перехода с образованием ревертированного аустенита, перегруппировка дислокационных ансамблей от границ фрагментов к границам ячеек с аннигиляцией и уменьшением плотности дислокаций, уменьшение (в целом) размера ОКР из-за образования <math>\gamma</math> из <math>\alpha</math> – фазы</p>  <p>x500                      x60000</p> <p><b>Структура</b> - <math>\alpha'</math> - 10-20%, <math>\gamma</math> - 70-90%, <math>\varepsilon</math> - 1-2% <b>Глубина модифицированного слоя</b> 30 -70 мкм</p>	<p><b>Уменьшение</b> в: 2,5-4 раза Ra 0,04 1,5-2 раза Hv- 2300МПа; скорости коррозии в 10 – 15 раз <b>Увеличение</b> в: 1,2 раза <math>\sigma_B = 1880</math> МПа, 1,5 раза <math>\sigma_{0,2} = 1727</math> МПа</p>



Рисунок 1 – Формирование структуры поверхностного модифицированного слоя аустенитной нержавеющей стали с повышенной коррозионной стойкостью на оптимальных режимах ЭПО.

При ЭПО в течение 10 - 20 минут развивается первичная рекристаллизация, рост зерен приводит к образованию новых границ, границы фрагментов становятся более четкими. Полировка в течение 20 минут выявляет границы ячеек, находящихся внутри фрагментов. Дислокационные ансамбли перегруппировываются от границ фрагментов к границам ячеек. Развитие разупрочняющих процессов в поверхностных слоях за счет  $\alpha \rightarrow \gamma$  - перехода, положительно влияющих на повышение коррозионных свойств материала, начинается со времени обработки в течение 3 минут. Этот процесс наглядно иллюстрируется при изучении морфологии поверхности после коррозионных испытаний. Чем больше время обработки, тем легче зерна деформируются по линиям деформационскольжения, преломляющимися друг относительно друга под углами соответствующими углу изгиба. При ЭПО в течение 20 минут происходит уменьшение скорости коррозии более чем в 10 раз за счет образования защитного поверхностного слоя.

Изменение времени ЭПО от 1 часа до 3 часов при температуре электролита 80 °С не меняет химический состав стали аустенитного класса. Происходит уменьшение содержания  $\alpha'$ -фазы с увеличением количества  $\gamma$ -фазы. Совместное действие ЭПО и различных степеней деформации волочением на калиброванный прутки из стали аустенитного класса сохраняет тенденцию уменьшения  $\alpha$  и  $\alpha'$ -фазы при увеличении  $\gamma$ -фазы, за счет фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$ . Наличие  $\alpha'$ -фазы (мартенсита) увеличивает среднюю микротвердость модифицированного слоя до 2700 МПа (микротвердость сердцевины составляет 2000 МПа). Предел прочности исходного прутка и прутков после деформации и ЭПО в течение 2 часов увеличивается в 1,2 раза с 1570 до 1880 МПа с увеличением предела текучести в 1,5 раза с 1176 МПа до 1727 МПа. Разработана модель структуры поверхностных слоев изделий из стали аустенитного класса с повышенной коррозионной стойкостью, получаемой методом ЭПО, представляющая собой ячеисто-полигональный аустенит, полученный на стадии предварительной микропластической деформации (прокатка, волочение) и ревертированный аустенит, образованный за счет реализации обратного  $\alpha'(\alpha) \rightarrow \gamma$ ,  $\alpha \rightarrow \epsilon \rightarrow \gamma$  - перехода при локальном разогреве при ЭПО.

#### Список литературы

1. Влияние электролитно-плазменной обработки на изменение характеристик поверхностного слоя коррозионностойких аустенитных сталей / А.Ю. Королев, Ю.Г. Алексеев, А.А. Кособуцкий, И.В. Фомихина, А.А. Повжик // Инженерия поверхности : сб. науч. ст. междунар. науч.-техн. конф., Брест, 25–27 окт. 2007 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В.М. Хвисевич (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2007. – С. 77–81.

2. Влияние электролитно-плазменной обработки на структуру и свойства поверхностного слоя / И.В. Фомихина, Ю.О. Лисовская, Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королев, В.С. Нисс // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. докл. междунар. симп., Минск, 25–27 марта 2009 г.: в 2 ч. / НАН Беларуси, Ин-т порошковой металлургии ; редкол.: П.А. Витязь, А.Ф. Илющенко, В.В. Савич. – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 158–165.

3. Изменение структуры модифицированного слоя нержавеющей стали при электролитно-плазменной обработке / И.В. Фомихина, Ю.Г. Алексеев, В.С. Нисс, А.Ю. Королев // Инженерия поверхностного слоя деталей машин : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–28 мая 2010 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б.М. Хрусталеv, Ф.И. Пантелеенко, В.Ю. Блюменштейн. – Минск, 2010. – С. 124–125.

## ПРОЧНОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК, ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ОЛИФОЙ

Шукова Е.В., Неверов А.С.

УО БелГУТ, г. Гомель, Беларусь, [shukova.yekaterina@yandex.by](mailto:shukova.yekaterina@yandex.by)

Известно пластификация изменяет структуру полиэтилена, обуславливая следующие изменения: во-первых, введение пластификатора увеличивает пластичность полимерного композита; во-вторых, структура образованная жидкостью, практически не обладает прочностью, что резко снижает физико-механические свойства такого материала. Последнего можно избежать, если пластификатор после введения в композиционный материал затвердевает, образуя систему взаимопроникающих пространственных сеток пластификатора и полимера.

Нами изучена возможность применения для этих целей легкоокисляемых растительных масел (олиф). Достоинством таких масел является отверждение за счет окисления кислородом воздуха. Неполярные растительные масла хорошо совмещаются с неполярным полимером, что способствует повышению прочностных характеристик такого материала после затвердевания.

Целью данной работы являлось изучение физико-механических показателей пленок полиэтилена пластифицированного олифой.

Объект исследования – полимерные пленки на основе полиэтилена низкого давления и олифы.

Полимерные пленки изготавливали из полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-77) и олифы (ГОСТ 7931-76) методом «горячего» прессования на гидравлическом прессе ПППР с электроподогреваемыми плитами ( $T = 423$  К) при давлении формирования 50 МПа. В дальнейшем, для удаления олифы методом экстрагирования, полимерные пленки выдерживали в ацетоне (ГОСТ 2603-79) 5, 10, 24 и 48 часов.

Для оценки физико-механических характеристик полимерных композитов проводили исследование их предела прочности при испытаниях на разрыв.

Результаты исследований отражены на рисунках 1, 2, 3.

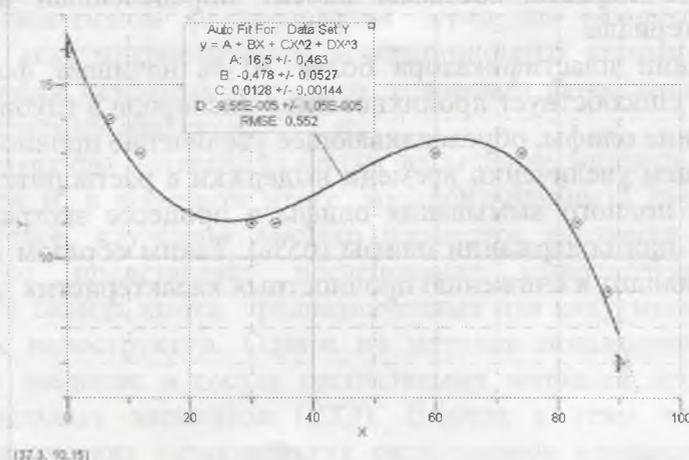


Рисунок 1 – Максимальное напряжение при испытаниях на разрыв пленок, сформированных из полиэтилена в зависимости от содержания олифы, МПа.