

18. Герцрикен Д.С., Мазанко В.Ф., Фальченко В.М. Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах.— Наук. Думка, Киев, 1991 г.—208 с.
19. Тюрин Ю.Н. Совершенствование оборудования и технологий детонационного нанесения покрытий.//Автоматическая сварка ., 1999г.,№5.,с.13-18.
20. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Тюрин Ю.Н. Теория и практика плазменно-детонационного модифицирования поверхности деталей машин и инструмента.// Сварочное производство., 1994 г., №5, с.23-25.
21. Бай Ши-и. Теория струй. // -М.: Физматгиз, 1960.—326 с.
22. Султанов М.А. Ударносжатая плазма в мощных импульсных разрядах.// -изд. "Дониш", Душанбе,1981.-281с.
23. Лыков А.М., Почапаев В.Г., Редькин Ю.Г., Куминов Е.С. Плазменное термоупрочнение сталей.//ФизХОМ., 1997, №3, с.27-32.
24. Лебедев А.Д. Урюков Б.А. Импульсные ускорители плазмы высокого давления.// - АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т теплофизики; Новосибирск. 1990. -290с.
25. Мордовец Н.М., Борисов Ю.С., Рачек А.П., Тюрин Ю.Н. Структура, кристаллографическая текстура и микротвердость в приповерхностном слое углеродистой стали, модифицированной плазменно-детонационным методом. // - Киев, Наукова Думка, 1994, вып. 28, с.50-57.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

ФОМИХИНА И. В.¹, ЛИСОВСКАЯ Ю. О.¹,
АЛЕКСЕЕВ Ю.Г.², КОРОЛЕВ А.Ю.², НИСС В.С.²

¹ГНУ «Институт порошковой металлургии»,
г. Минск, Беларусь, e-mail: iscentr@tut.by

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Исследуется влияние геометрии обрабатываемой поверхности, времени обработки, скорости гидротоков, глубины погружения и пространственной ориентации на структуру и свойства поверхностного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т при проведении электролитно-плазменной обработки.

Введение. Метод обработки металлических изделий в электролитах при повышенных напряжениях постоянного тока – электролитно-плазменная обработка (ЭПО), широко используется для полировки поверхностей деталей сложной формы. Вместе с тем этот метод открывает новые возмож-

ности в плане формирования поверхностей за счет избирательного травления (съема) металла с различных зон поверхности изделия при варьировании технологическими и электрическими параметрами [1, 2].

Постановка задачи. Объектом исследования является поверхность образцов пластин и цилиндров из стали 12Х18Н10Т после прокатки со степенью деформации 70% с последующей ЭПО в течение 0,5–20 мин со скоростями гидротоков 3–5 м/с при силе тока 5 А и напряжении 300В с различной глубиной погружения и пространственной ориентацией в электролите, а также выпуклая и вогнутая поверхности изделий в виде катушки и чашки.

Целью работы является исследование влияния режимов ЭПО на структуру и свойства поверхностного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Методы испытаний. Определение параметров шероховатости поверхности с записью профилограмм проводилось на профилометре-профилографе 252 типа А1 в соответствии с ГОСТ 2789–73.

Исследование морфологии поверхности образцов пластин после проведения ЭПО проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия).

Исследования фазового состава и параметров тонкой структуры поверхности тонких слоев методом рентгеновской дифракции осуществлялись на дифрактометре общего назначения ДРОН–3.0 в CuK_{α} -монохроматизированном излучении. Для обработки и анализа полученных данных применялся пакет программ WinDif.

Изучение субструктуры, фазового состава структурных составляющих с расшифровкой картин микродифракции (электронограмм) осуществлялось на просвечивающем электронном микроскопе ЭМ–125 при ускоряющем напряжении 125 кВ [3, 4].

Микротвердость обработанных поверхностей измерялась на микротвердомере Micromet II фирмы "Buehler-Met" (Швейцария) с нагрузкой 50 г.

Результаты эксперимента и их обсуждение.

Металлография и дюрометрия.

Время обработки, скорость гидротоков. Металлографическим и дюрометрическим анализами поверхностных

слоев пластин выявлено, что с увеличением времени ЭПО до 20 мин. и скорости полирования до 5 м/с увеличивается количество γ -фазы и толщина поверхностного слоя до 30 мкм. Происходит уменьшение микротвердости в поверхностном слое в 1,5–2 раза среднем на 1000 МПа по сравнению с прокатанным состоянием. Так, микротвердость образца после прокатки составляет 3400 МПа, после 20 мин. ЭПО - 2300 МПа. ЭПО в течение 0,5, 1 мин. практически не влияет на изменение микротвердости поверхностного слоя.

На рис. 1 представлена микроструктура поверхностных слоев образцов пластин из стали 12Х18Н10Т после прокатки и ЭПО в течение 20 минут.

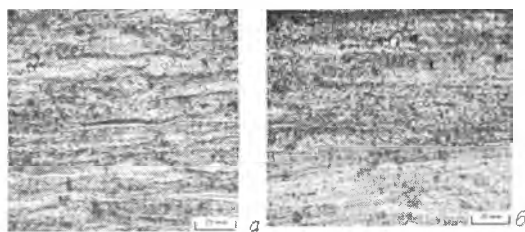


Рис. 1. Микроструктура поверхностных слоев образцов пластин из стали 12Х18Н10Т после ЭПО, $\times 500$: а - прокатка; б - 20 мин

Шероховатость поверхности.

1. Геометрия обрабатываемой поверхности. Параметр шероховатости R_a , измеренный на выпуклых и вогнутых поверхностях катушки и чашки после ЭПО, уменьшается в среднем в 1,6 раза от 0,1 R_a до 0,04 R_a по сравнению с исходным состоянием. Выступы и впадины профиля неровностей поверхности после ЭПО сглаживаются, острые углы затупляются. Линия профиля обработанных образцов практически не имеет выступов и впадин и представляет собой сглаженную кривую с минимальной амплитудой.

2. Время обработки поверхности. Исследования шероховатости поверхности пластин в исходном прокатанном состоянии с наведенной шероховатостью 0,18 R_a и их последующей ЭПО в течение 1–20 минут показали уменьшение параметра шероховатости в 4 раза: R_a исходного образца составляет 0,183 мкм, обработанного – 0,046 мкм. ЭПО в течение 20 минут приводит к сглаживанию и практически полному удалению рельефа.

3. Скорость гидротоков ЭПО. Выявлено, что увеличение скорости гидротоков ЭПО до 5 м/с уменьшает параметр шероховатости в три раза. Параметр шероховатости исходного образца составляет 0,61 Ra, обработанного – 0,22 Ra. Увеличение скорости гидротоков приводит к сглаживанию и практически полному удалению рельефа.

4. Глубина погружения и пространственная ориентация плоских и цилиндрических образцов в электролите. Определено, что чем больше глубина погружения в электролит, тем больше сглаживается (полируется) поверхность и тем меньше параметр шероховатости. Так параметр шероховатости плоских и цилиндрических, горизонтально погруженных на глубину 400 мм образцов, относительно исходного уменьшается в 2,5 раза. При вертикальной и 45° ориентации в электролите максимальная полировка происходит на участке начала погружения в электролит с уменьшением Ra до 2,8 раз, на участке конца погружения – до 2,5 раз. На рис. 2 представлена шероховатость исходного образца и образца при ЭПО в течение 20 минут.

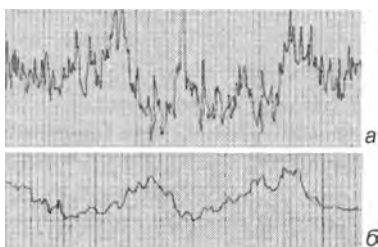


Рис. 2 Шероховатость образцов пластин: а - исходное состояние (наведенная шероховатость); б - ЭПО в течение 20 минут

Морфология поверхности.

Время обработки, скорость гидротоков, глубина погружения и пространственная ориентация в электролите. Установлено, что процесс полирования начинается со снятия грубого рельефа, травления границ зерен и их сглаживания при начальной стадии полировки. Дальнейшее полирование происходит внутри зерен по линиям скольжения–двойникования, возникшим при прокатке. На линиях скольжения–двойникования сосредотачиваются выходы дислокаций (ямки травления) в виде цепочек, позволяющих наблю-

дать за кинетикой полирования. В зависимости от кристаллографической ориентации менее дефектные грани зерен сполниваются быстрее, на более дефектных наблюдаются остаточные цепочки из выходов краевых дислокаций. На конечной стадии затрагивается субструктурное строение внутри зерен. Границы зерен становятся практически невидимыми, выявляются фрагменты тонкого строения внутри зерен, разрешаемые при увеличении выше $\times 20000$.

На рис. 3 представлена морфология поверхности плоских образцов из стали 12Х18Н10Т при горизонтальной ориентации в электролите в исходном состоянии и с глубиной погружения 400 мм при ЭПО.

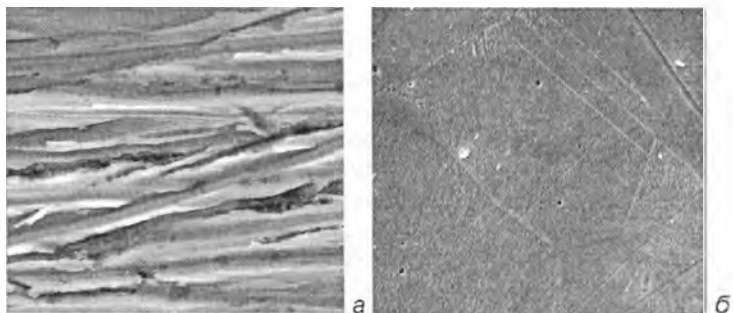


Рис. 3 Морфология поверхности плоских образцов из стали 12Х18Н10Т при горизонтальной ориентации в электролите с различной глубиной погружения, $\times 10000$: а - исходный образец; б - глубина погружения 400 мм

Фазовое, структурное и субструктурное состояние.

Рентгенофазовый анализ поверхностных слоев пластин после ЭПО показал, что обработка уменьшает количество α -фазы в поверхностном слое относительно прокатанного состояния и увеличивает количество γ -фазы.

При проведении ЭПО изменяется преимущественная ориентировка α -фазы из плоскости прокатки (110) в плоскость (200) на начальной стадии обработки и в плоскость (211) на конечной стадии обработки. Ориентировка γ -фазы со временем обработки не меняется и остается (220). Из результатов рентгеноструктурного анализа тонких слоев, вырезанных из плоских образцов определено, что размер ОКР практически не меняется, относительная средняя микродеформация (ОСМД) уменьшает в среднем в 1,4 раза от 15,4 до $11,04 \times 10^{-4}$. По сравнению с прокатанным состоянием

ем происходит уменьшение плотности дислокаций в 2 раза: значение плотности дислокации изменяется от $1,52 \times 10^{10}$ до $0,78 \times 10^{10}$.

Распределение ОСМД в зависимости от расстояния в кристаллической решетке в прокатанном состоянии описывается степенной моделью, характеризующейся отсутствием хаоса и скоплением дислокаций в стенках. ЭПО на конечной стадии приводит к перегруппировке дислокационных ансамблей с их хаотическим распределением, что свидетельствует о разупрочнении обработанного поверхностного слоя.

Электронномикроскопические исследования прокатанного состояния показали, что зерна фрагментированы, размер фрагментов – 1 мкм, фрагменты в свою очередь разбиты на ячейки (ОКР) величиной порядка 10 нм, расшифровка электроннограмм показывает наличие в образце α -фазы по карточке ASTM [06–0696] и γ -фазы [33–397]. Стенки фрагментов и ячеек сформированы винтовыми и краевыми дислокациями с плотностью по данным РСА $\rho = 1,52 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

ЭПО в течение 20 минут приводит к трансформации высокоплотной пограничной дислокационной структуры в менее плотную структуру с единичными или изогнутыми дислокациями преимущественно краевой ориентации, размещающимися по границам ячеек. Происходит снижение плотности дислокаций от $1,52 \times 10^{10}$ (прокатка) до $0,8 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$, количество γ -фазы увеличивается.

На рис. 4 представлено изменение структуры поверхностных слоев образцов пластин из стали 12Х18Н10Т после прокатки и ЭПО в течение 20 минут.

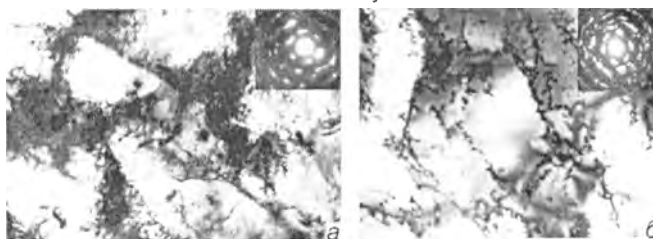


Рис. 4 Электронно-микроскопические фотографии структуры поверхностных слоев образцов пластин из стали 12Х18Н10Т после различного времени ЭПО, $\times 60000$: а - прокатка; б - 20 мин

Коррозионная стойкость.

Исследование морфологии поверхности пластин после коррозионных испытаний показало, что увеличение времени ЭПО повышает коррозионную стойкость материала. После испытаний на изгиб микротрещин не наблюдается. На поверхностях, обработанных в течение 1 – 5 минут, выявляются локальные питтинговые ямки растравливания. Поверхность исходного прокатанного образца после коррозионных испытаний имеет микротрещины в эпицентре изгиба, характерные для развития межкристаллитной коррозии. При ЭПО в течение 20 минут происходит уменьшение скорости коррозии более чем в 10 раз за счет образования защитного поверхностного слоя.

На рис. 5 представлена морфология поверхности образцов из стали 12Х18Н10Т в прокатанном состоянии и ЭПО в течение 20 минут после коррозионных испытаний.

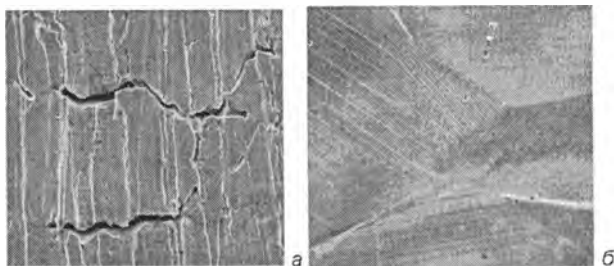


Рис. 5. Морфология поверхности образцов пластины из стали 12Х18Н10Т после ЭПО после коррозионных испытаний, $\times 10000$: а - прокатка с наведенной шероховатостью; б - ЭПО в течение 20 минут

Выводы.

Выявлены закономерности влияния ЭПО на структуру и свойства поверхностного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Установлена зависимость геометрии обрабатываемой поверхности, времени обработки, скорости гидротоков, глубины погружения и пространственной ориентации плоских и цилиндрических образцов в электролите на шероховатость поверхности.

Изучено изменение морфологии поверхности в зависимости от времени обработки, скорости гидротоков, глубины погружения и пространственной ориентации в электро-

лите. Исследовано фазовое, структурное и субструктурное состояние. Определены дюрометрические изменения в зависимости от времени обработки и скорости гидротоков.

Проведены испытания на коррозионную стойкость, показывающие снижение в 10 раз скорости коррозии при ЭПО.

Литература:

1. М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, Г.А. Есьман. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения/ учеб. пособие для вузов; – Мн.: Тесей, 2003. – 424 с.
2. М.Г. Киселев, В. Т. Минченя, В .А. Ибрагимов. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / – Мн.: Тесей, 2001. - 344 с.: ил.
3. Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л. М. Расторгуев Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М., 1982
4. Л.К. Гордиенко. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов / – М.: Наука, 1980. –224 с.