

**А.В. ГУНЕНКО**

МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

**МОДИФИКАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ  
В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННО ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ  
ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РАСТЯЖЕНИИ  
С РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТЬЮ**

В основе механизмов электропластической деформации (ЭПД) лежит процесс ускорения пластического течения металла потоком электронов проводимости, которые находятся в дрейфовом движении под влиянием приложенной разности потенциалов или действием «электронного ветра» внутри деформируемого металла [1 – 2]. Помимо джоулевого эффекта, свободные электроны способны оказывать особое специфическое электропластическое действие на металл, находящийся под механическими напряжениями выше предела текучести [3 – 4].

Электропластическая деформация может действовать наряду с джоулевым эффектом в ставших уже традиционными способах обработки металлов давлением с участием электрического тока, таких, как ЭКН (электроконтактный нагрев) и индукционный нагрев токами Фуко, где используется джоулевый эффект. Таким образом возникло обоснованное предположение, что с помощью направленного электропластического эффекта (ЭПЭ) можно интенсифицировать технологические процессы обработки металлов давлением, такие, как волочение, прокатка, штамповка, вытяжка и др. и модифицировать их физико-механические свойства.

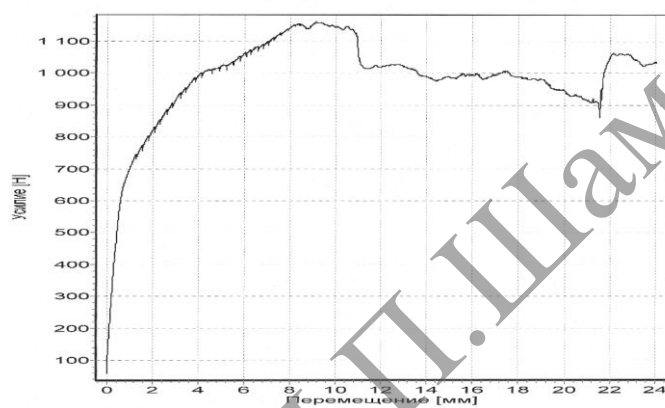
Величина зерна металла существенно зависит от таких факторов, как кристаллизация, термомеханическая и другие виды обработки. Важнейшие механические характеристики металлов, таких, как предел текучести и прочности, определяются микроструктурой материала, в том числе существенно зависят от размеров зерен. Для некоторых технически важных

материалов при уменьшении размера зерна (менее 10 мкм) в специальных условиях деформации реализуется явление **сверхпластичности**, изменяются электрические и магнитные свойства, вдоль границ зерен быстрее, чем в объеме

Целью исследований являлось изучение внешних энергетических воздействий в условиях реализации электропластичности металлов на физико-механические характеристики тонких образцов нержавеющей стали для получения высоких эксплуатационных свойств материалов.

#### *Методика и результаты эксперимента*

При испытании образцов на деформационном стенде выполнялось нагружение статической силой с равномерным ростом деформации во времени. Образцы испытывались на разрыв с записью зависимости величины растягивающей силы от времени. В первой серии экспериментов для реализации электропластической деформации через образцы пропускался импульсный ток  $10^3$  А/мм<sup>2</sup> длительностью  $10^{-5}$  с. При пропускании тока в образце наблюдались динамические деформации в виде осцилляций деформирующих усилий в сторону разупрочнения в области предела текучести за счет стимулирования током пластической деформации в упругой области (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Осцилляции деформирующих усилий при статистическом нагружении образцов при прохождении импульсов тока**

Исследование микроструктуры образцов проведено с использованием растрового электронного микроскопа LEO 1455VP (Carl Zeiss). Наблюдение осуществлялось регистрацией отраженных электронов, ускоряющее напряжение составляло 20 кВ. Морфологический анализ изображения определялся прибором «Пост микроконтроль МК-3» с помощью компьютерной программы Autoscan Objects.

В ходе исследований был проведен морфологический анализ с выделением гистограмм по классам, с определением контроля физико-механических свойств материала. Произведен анализ экспериментальных и теоретических данных с учетом коэффициентов парной корреляции и регрессии для верности. При помощи программного пакета Matlab 7.1 была проведена интерполяция бикубическими сплайнами экспериментальных данных с целью усреднения трехмерных графиков.

**Морфологический анализ** микроструктуры образцов по различным параметрам показал существенную зависимость от внешних энергетических воздействий при пропускании импульсов тока.

В условиях реализации электропластической деформации при увеличении действия одиночных импульсов тока плотностью  $\sim 10^5$  А/см<sup>2</sup> и длительностью  $\sim 10^{-5}$  с при непрерывном растяжении с различной скоростью нагружения наблюдается модификация микроструктуры нержавеющей стали. Морфологический анализ испытываемых образцов при электронно-пластической деформации показал уменьшение процентной доли площади и длины зерен (рисунок 2), т.е. микроструктура деформационной части образца становится мелкозернистой, зерна принимают большую форму с увеличением удлинения зерна, с преимущественной ориентацией аксиальной структуры, существенно уменьшается длина, ширина и удлинение зерен, вертикальная и горизонтальная проекция зерен (рисунок 2).

## Расчет по параметру: Площадь Объекты распределены по параметру Площадь на 10 интервалов

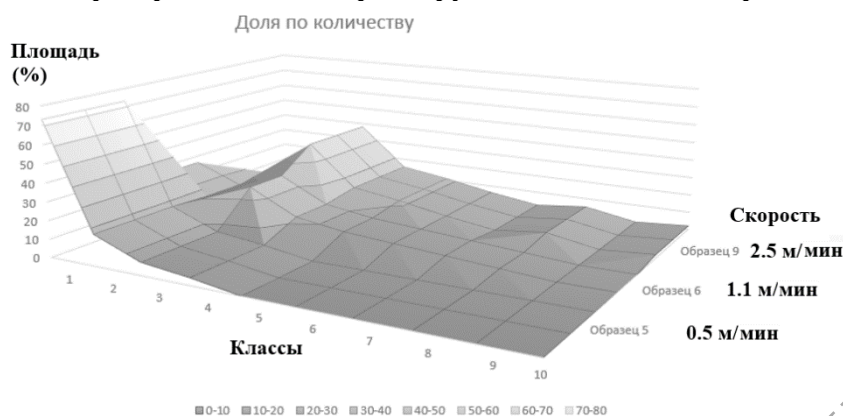


Рисунок 2. – Сравнительный график по параметру площади

Таким образом, при реализации явления электропластичности улучшается микроструктура металла, что, как правило, реализуется созданием микрозернистого строения металла при уменьшении размера зерна.

С увеличением скорости нагружения образцов нержавеющей стали происходит уменьшение величины скачка осцилляции деформирующего усилия и понижение общего уровня деформационной нагрузки, что объясняется истощением дислокационной структуры при активном нагружении образца, и, как следствие, изменяется влияние электропластической деформации на модификацию физико-механических характеристик металлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Савенко, В.С. Фундаментальные и прикладные исследования электропластической деформации металлов: монография / О.А. Троицкий, В.С. Савенко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 375с.
2. Троицкий, О.А. Физические основы и технологии обработки современных металлов: в 2 т./ О.А. Троицкий [и др]. – Ижевск – Москва: Изд-во РХД. – Т 1. – 590с., Т 2. – 467с.
3. M. Molotskii, V. Fleurov.// J Phys. Chem. B. – 2000. – v. 104. – P.3812 – 3816.
4. A.F. Sprecher, S.L. Mannan, H. Conrad.// Acta Met. 34,1145 ( 1986).