

А. В. Гуненко, В. С. Савенко

УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь)

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТАТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ

В производстве конструкционных материалов, в деталях электрических приборов и микросхем применяют различные виды обработки металлов давлением, процессы которой основаны на пластической деформации. Это вызывает наибольший интерес к проблеме прочности и пластичности в машиностроении, так как основная масса изделий изготавливается из конструктивных материалов, у которых

сочетается два основных свойства – пластичность в технических процессах и твердость, как эксплуатационная характеристика, определяющая прочность и износостойкость материалов и изделий.

На сегодняшний день современное материаловедение сталкивается с достаточно сложной проблемой, включающей в себя повышение уровня пластичности в металле при влиянии внешних энергетических воздействий.

Электропластическая деформация образцов нержавеющей стали в условиях действия одиночных импульсов тока плотностью $\sim 10^5$ А/см² и длительностью $\sim 10^{-4}$ с, при непрерывном растяжении статической нагрузкой. Образцы испытывались на разрыв на специальном стенде с записью зависимости величины растягивающей силы от времени. Показано, что под действием внешних энергетических воздействий существенно модифицируется структура материала, происходит измельчение микроструктуры шлифа, дробление зерен, изменяется предел текучести и предел упругости материала.

Явление электропластического эффекта было обнаружено в 1969 году. Данный процесс проходил при действии одиночных импульсов тока плотностью $\sim 10^5$ А /см² и длительностью $\sim 10^{-4}$ с на деформацию кристаллов цинка растяжением и сжатием. Действие тока при этом не вызвало существенного повышения температуры металла и поэтому достаточно сильно отличается от джоулевого эффекта, который заключён в процессе электронного нагрева. В данном случае пластические свойства металла не оказывают значительного влияния на изменение прочности. При влиянии электрического тока большой плотности на деформируемый металл происходит снижение сопротивления деформирования, что в свою очередь приводит к изменениям служебных характеристик исследуемого образца [1].

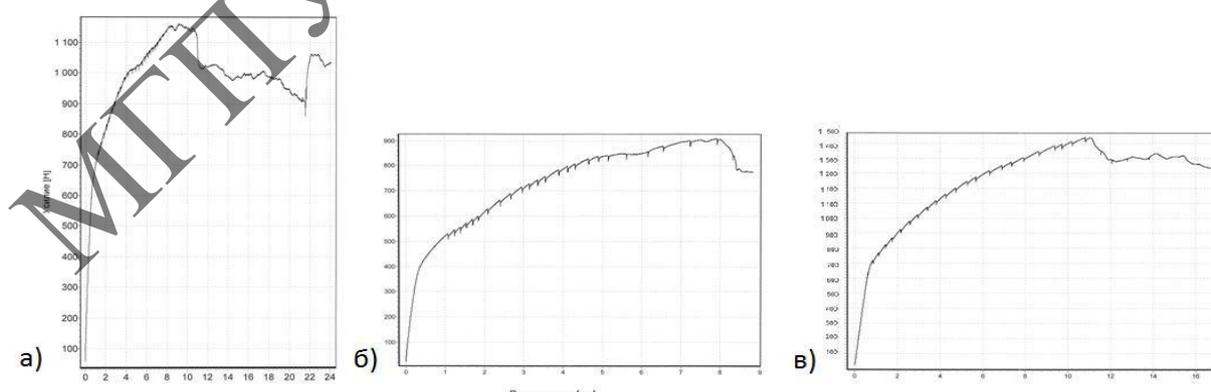
Показано, что электропластический эффект связан с пондеромоторным пинч – действием импульсного тока – сжатием образцов в радиальном направлении собственным магнитным полем тока. При увеличении диаметра образцов значение пинч-эффекта также возрастало.

ЭПЭ 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. Возникло обоснованное предположение и ожидание, что с помощью направленного электропластического эффекта можно интенсифицировать технологические процессы обработки металлов давлением. А это волочение, прокатка, штамповка, вытяжка и др. В известной мере эти

предположения оправдались, но не полностью. Это связано в первую очередь с объективными трудностями, возникающими при подведении тока высокой плотности в зону деформации металла на современных прокатных и волочильных станах, а также отсутствием промышленных источников импульсного тока, специально предназначенных для этих целей [2].

Величина зерна металла существенно зависит от таких факторов, как кристаллизация, термомеханическая и другие виды обработки. Такие важнейшие механические характеристики металлов, 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 кристалла, протекает диффузия [3].

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/мм² длительностью 10^{-5} с. При пропускании тока в образце наблюдались динамические деформации (рисунок 1). Контроль динамических воздействий выполнялся измерением ускорений образца с применением трехосевого пьезоэлектрического датчика, сигналы с которого записывались через устройство сбора данных NI USB 4431 в компьютер с использованием пакета LabVIEW.



а) образец № 5 – образец с током, скорость $V_1 = 0,5$ мм/мин, б) образец № 6 – образец с током, скорость $V_1 = 1,1$ мм/мин, в) образец № 9 – образец с током, скорость $V_1 = 2,5$ мм/мин 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 физикомеханических свойств материала, основанного на измерении микротвердости. 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.

Микроструктуры образцов по различным параметрам показали существенную зависимость от внешних энергетических воздействий, при пропускании импульсов тока.

В условиях реализации электропластической деформации наблюдается модификация микроструктуры с уменьшением площади и периметра зёрен (рисунок 2), т.е. происходит дробление зёрен и микроструктура деформационной части образца становится мелкозернистой, зерна принимают более округлую форму с уменьшением удлинения зерна, с преимущественной ориентацией аксиальной структуры, существенно уменьшается длина, ширина и удлинение зерен, вертикальная и горизонтальная проекция зерен (рисунок 3).

Расчет по параметру площадь. Объекты распределены по параметру площадь на 10 интервалов от минимального до максимального значения.

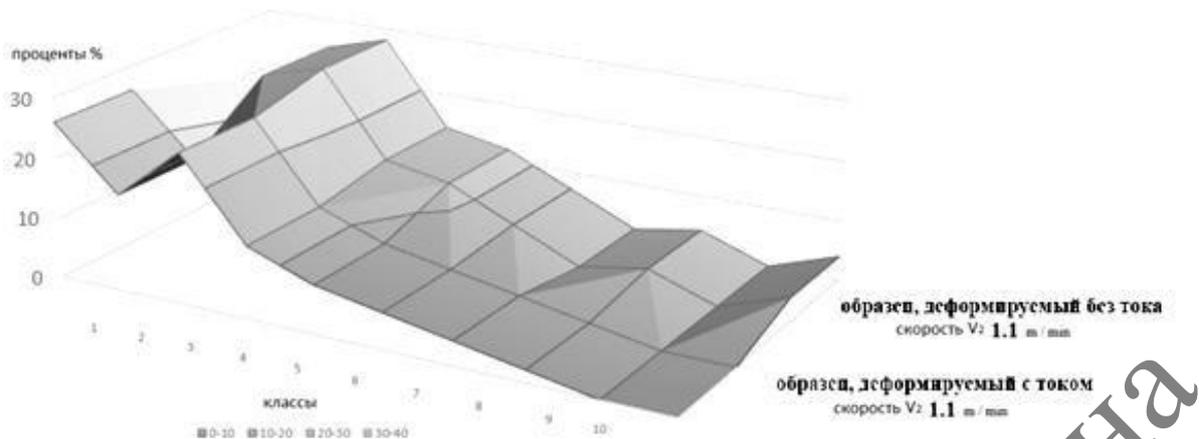


Рисунок 2. – Сравнительный график по параметру площади

Расчет по параметру длина. Объекты распределены по параметру Фактор формы на 10 интервалов от минимального до максимального значения.

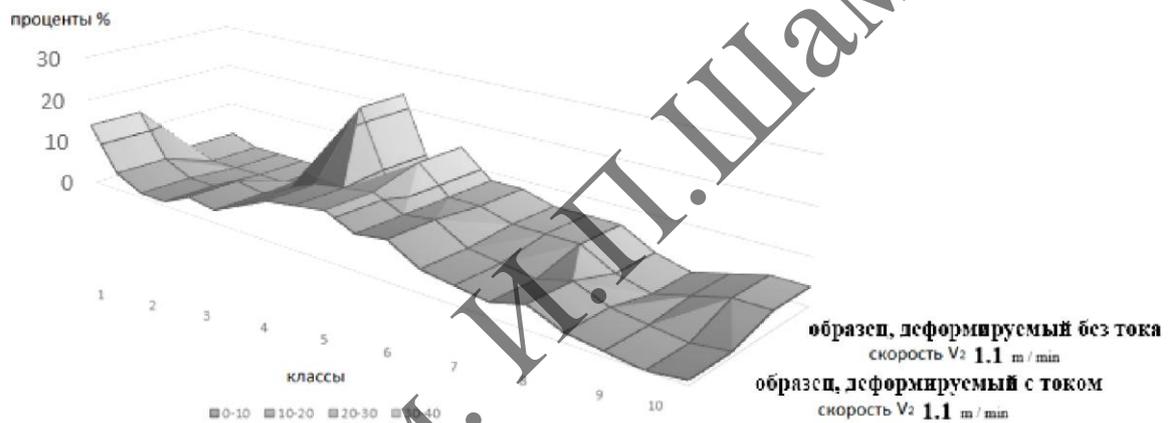


Рисунок 3. – Сравнительный график по параметру длина

Исследования по параметру длина зерна показали, что наибольшему деформационному влиянию подвержены образцы с направлением импульса тока от плюса к минусу.

Литература

1. Баранов, Ю.В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю.В. Баранов, О.А. Троицкий, Ю.С. Авраамов, А.Д. Шляпин. – М, 2001.
2. Савенко, В.С. Механическое двойникование и электропластичность металлов в условиях внешних энергетических воздействий / В.С. Савенко. – Минск, 2003. – 203 с.
3. Хоникомб, Р. Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб. – М.: Мир, 1972. – С. 179–188.