

УДК 539.21

В. С. Савенко, А. В. Гуненко

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСОВ ТОКА НА МИКРОСТРУКТУРУ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния импульсного тока плотностью 10^3 А/мм² и длительностью 10^{-4} с, частотой 600–800 Гц при реализации многоходовой электропластической прокатки. Рассмотрено влияние импульсного тока на возникающее собственное магнитное поле внутри деформируемого образца с учетом пондеромоторных сил.

Ключевые слова: электропластическая деформация, пондеромоторное действие тока, пинч-эффект, скин-эффект, импульсный ток, собственное магнитное поле.

Введение. В настоящее время установлено влияние электрических и магнитных полей на металлы и сплавы, в условиях электропластичности, приводящие к изменению процессов ползучести и микротвердости, прочности и пластичности металлов, подвергающихся внешним энергетическим воздействиям. Достаточно хорошо изученным видом внешних энергетических воздействий является токовая импульсная обработка металлов. Воздействие токовыми импульсами на металлические материалы приводит к существенному изменению их физико-механических свойств, что важно с прикладной точки зрения для восстановления ресурса металлических деталей, и изменению их служебных характеристик.

Результаты исследований и их обсуждение. Для экспериментальных исследований была создана установка, позволяющая нагружать образец 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^{-4} с. При пропускании тока в образце наблюдались динамические деформации с осцилляциями деформирующих усилий (рисунок 1). Контроль динамических воздействий выполнялся измерением ускорений образца с применением трехосевого пьезоэлектрического датчика, сигналы с которого записывались через устройство сбора данных. В контрольной серии экспериментов образцы деформировались без тока.

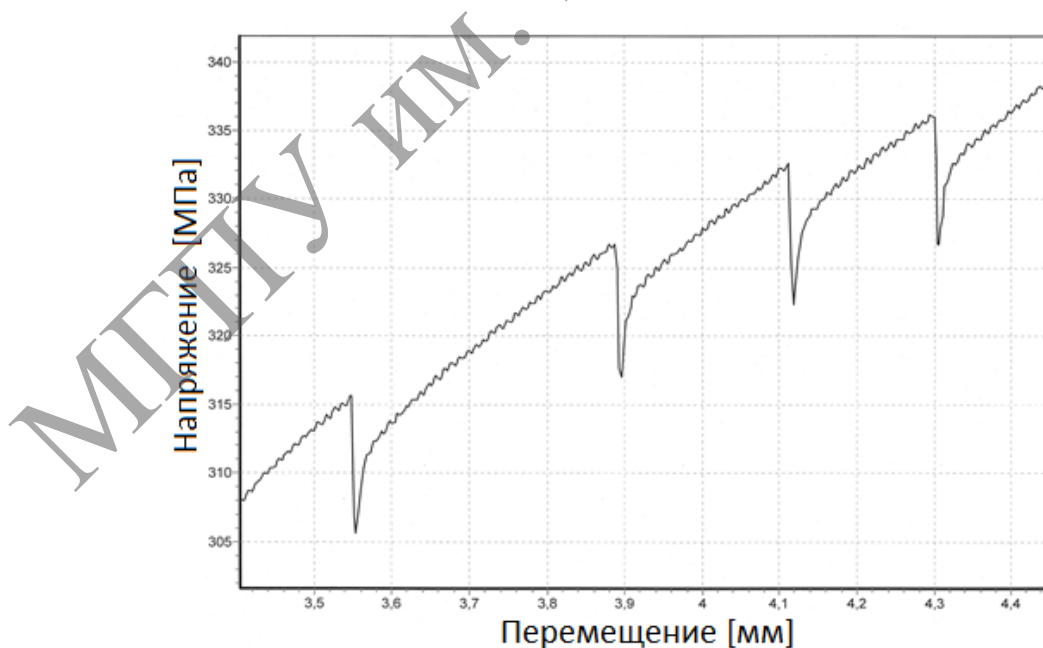


Рисунок 1. – Осцилляции деформирующих усилий при статистическом нагружении образцов при прохождении импульсов тока

При пропускании через образец, имеющий геометрические параметры: ширина – 4 мм, толщина – 1 мм нагруженный выше предела текучести, во время многоходовой прокатки, коротких импульсов тока длительностью 10^{-4} с, плотностью $J_m = 10^3$ А/мм² происходит возбуждение электронной подсистемы металла и реализуется явление электропластичности в виде осциллирующих деформирующих [1–3].

Импульсный ток обуславливает в деформируемом материале пондеромоторное действие вследствие периодического сжатия образцов в радиальном направлении собственным магнитным полем тока и возбуждением виброакустических упругих ультразвуковых колебаний с частотой следования импульсов. В [4–6] показано, что при одной и той же плотности тока электропластический эффект зависит от параметров образца, радиуса и электрического сопротивления.

Следует отметить, что при возбуждении импульсов тока в металле выделяется Джоулево тепло, однако при длительности импульсов тока 100 мкс и плотности тока от 100 до нескольких тысяч А/мм² нагрев образца не превышает нескольких градусов, если импульсы разделены интервалами в десятки секунд.

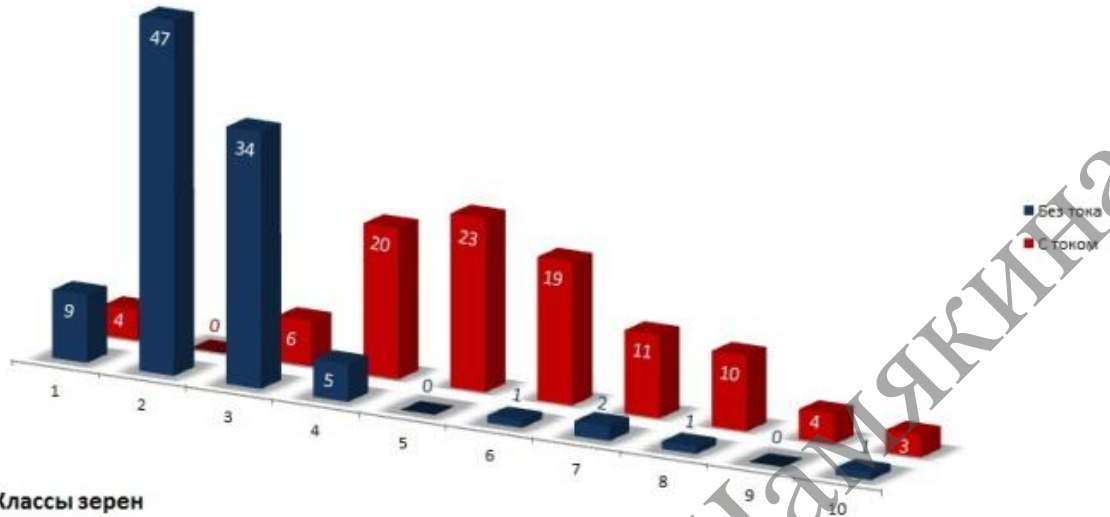
С другой стороны, возбуждение импульсов тока в металле приводит к возникновению механических напряжений за счет пондеромоторных факторов, которые обуславливают виброакустические ультразвуковые колебания кристаллической решетки на фронте нарастания импульса. При реализации пинч-эффекта создающееся собственное магнитное поле импульсного тока диффундирует в образец, при этом скорость диффузии зависит как от проводимости, так и от частоты тока [1].

В условиях реализации электропластической деформации наблюдается модификация микроструктуры с уменьшением площади и периметра зёрен (рисунки 2, 3), т. е. происходит уменьшение зёрен и микроструктура деформационной части образца становится мелкозернистой, зерна принимают меньшую форму, существенно уменьшается длина и ширина зерен.

Вывод. При деформации образца за счет пондеромоторных сил, пинч-эффекта магнитное поле диффундирует в образец, при этом скорость диффузии зависит от проводимости и частоты тока. Пинч-эффект выражен сильнее на материалах с высокой электропроводимостью при одинаковой геометрии.

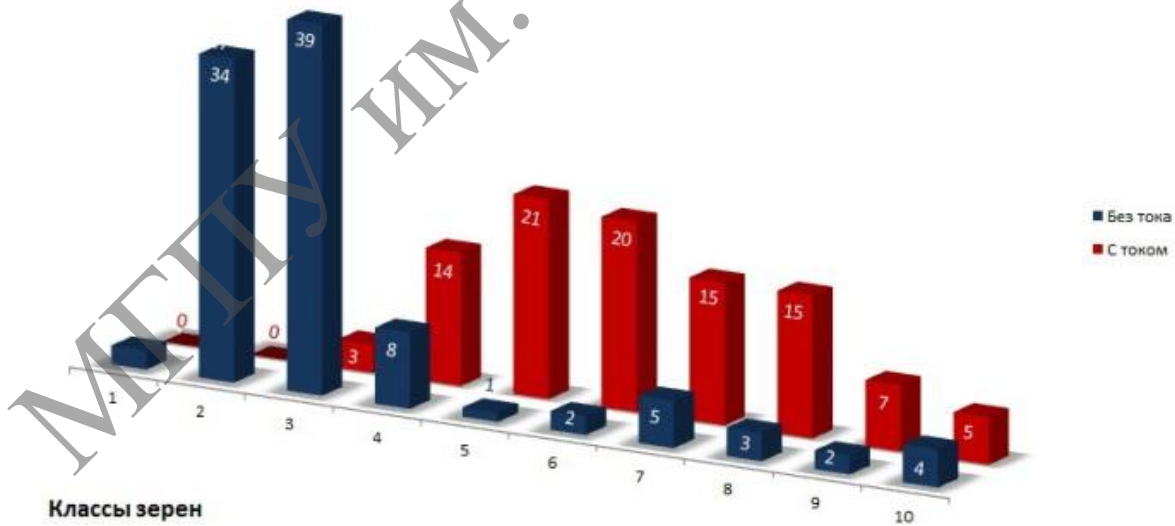
Напряженность магнитного поля увеличивается с увеличением расстояния от центра образца, а плотность тока уменьшается. С увеличением частоты следования импульсов магнитное и электрическое поля перемещаются к стенкам образца.

Доля по количеству (в процентах)



Классы зерен

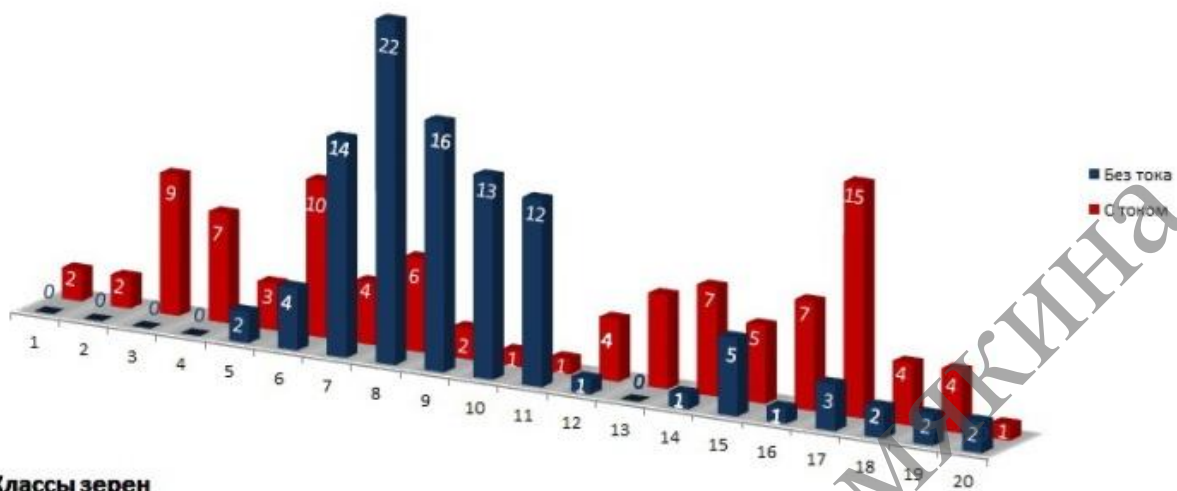
Доля по массе (в процентах)



Классы зерен

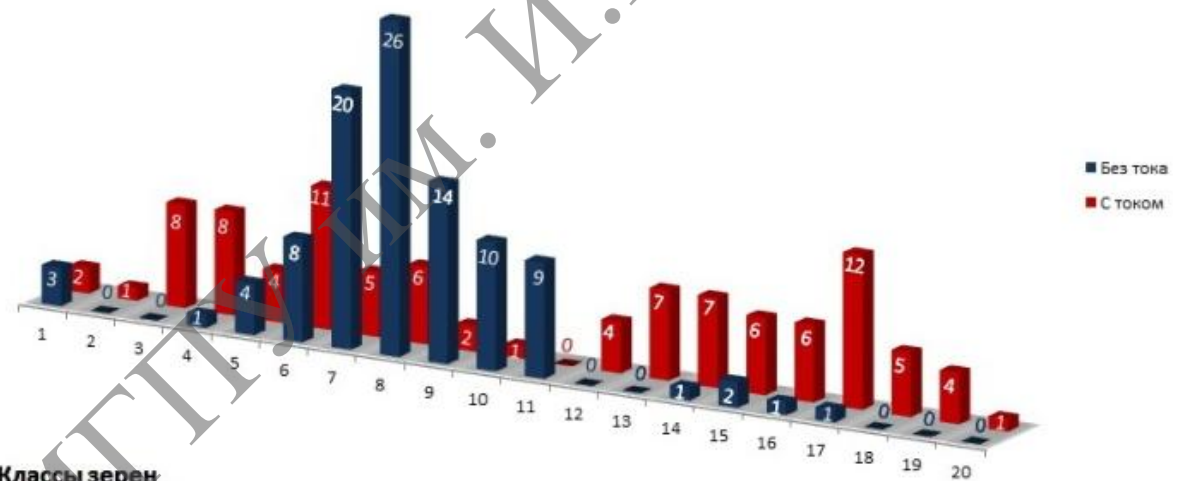
Рисунок 2. – Сравнительный график по параметру площади

Доля по массе (в процентах)



Классы зерен

Доля по количеству (в процентах)



Классы зерен

Рисунок 3. – Сравнительный график по параметру периметров

Список основных источников

1. Савенко, В. С. Фундаментальные и прикладные исследования электропластической деформации металлов / В. С. Савенко, О. А. Троицкий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 375 с.

2. Рошупкин, А. М. О влиянии электрического тока и магнитного поля на взаимодействие дислокаций с точечными дефектами в металлах / А. М. Рошупкин, И. Л. Батаронов // Физика твердого тела. – 1988. – Т. 30, № 11. – С. 3311.

3. Molotskii, M. Magnetic effects in electroplasticity of metals / M. Molotskii, V. Fleurov // Physical Review. – 1991. – Vol. 52. – № 22. – P. 311–317.

4. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов [и др.] – М. : МГИУ, 2001. – 844 с.

5. Савенко, В. С. Механическое двойникование и электропластичность металлов в условиях внешних энергетических воздействий : монография / В. С. Савенко. – Минск : БГАФК, 2003. – 203 с.

6. Savenko, V. S. Electroplastic effect under the simultaneous superposition and magnetic fields / V. S. Savenko // Journal of applied physics, 1999. – № 5. – P. 1–4.

Vladimir Savenko, Alexey Gunenko

INFLUENCE OF CURRENT PULSES ON THE MICROSTRUCTURE OF A STAINLESS STEEL UNDER CONTINUOUS DEFORMATION

***Summary.** The article presents the results of theoretical and experimental studies of the effect of a pulsed current with a density of 10^3 A / mm² and a duration of 10^{-4} s, a frequency of 600 ÷ 800 Hz with the realization of multi-pass electroplastic rolling. The effect of a pulsed current on the resulting intrinsic magnetic field inside a deformable sample is considered, taking into account ponderomotive forces.*

***Keywords:** electroplastic deformation, ponderomotive effect of the current, pinch effect, skin effect, impulse current, intrinsic magnetic field.*