

УДК 539.21

В. С. Савенко, А. В. Гуненко

ЭЛЕКТРОННО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрена 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.

Ключевые слова: деформация, импульс электрического тока, растяжение, микроструктура, измельчение зерна.

Введение. В процессе эксплуатации металлические конструкции и изделия, детали машин подвергаются механическим нагрузкам, что необратимо приводит к постепенному их разрушению в связи с исчерпанием ресурса. Исследования всех видов пластической деформации материалов из сталей и сплавов различных структурных классов, а также чистых металлов, находящихся как в поликристаллическом, так и монокристаллическом состояниях, позволили объяснить хрупкое разрушение изделий, но вопрос о возможности варьирования срока службы материала и увеличении его ресурса так и не был решен.

В настоящее время предложен ряд способов модификации физических и механических свойств металлических материалов в условиях внешних энергетических воздействий. К таким методам относятся воздействие импульсами электрического тока, электрическими и магнитными полями, контактные воздействия. Однако, стоит отметить, что физическая природа влияния этих воздействий на металлы и сплавы в процессе пластической деформации до сих пор изучена недостаточно.

Результаты исследований и их обсуждение. 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.

В условиях реализации электропластической деформации при действии одиночных импульсов тока плотностью $\sim 10^5$ А/см² и длительностью $\sim 10^{-4}$ с, в условиях непрерывного растяжения с различной скоростью нагружения наблюдается модификация микроструктуры нержавеющей стали. Исследования проводились на специальном стенде для испытания образцов на разрыв с записью зависимости величины растягивающей силы от времени (рисунок 1).

Морфологический анализ испытуемых образцов при электронно-пластической деформации (рисунок 2) показал уменьшение процентной доли площади и длины зёрен, т.е. микроструктура деформационной части образца (рисунок 3) 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.

Импульсный ток оказывает на деформируемый материал пондеромоторное действие, обусловленное периодическим сжатием образцов в радиальном направлении токового канала, собственным магнитным полем тока и возбуждением в образцах на фронте нарастания импульса, виброакустических упругих ультразвуковых колебаний с частотой следования импульсов. В [1–3] показано, что при одной и той же плотности тока

электропластический эффект зависит от параметров образца: радиуса и электрического сопротивления.

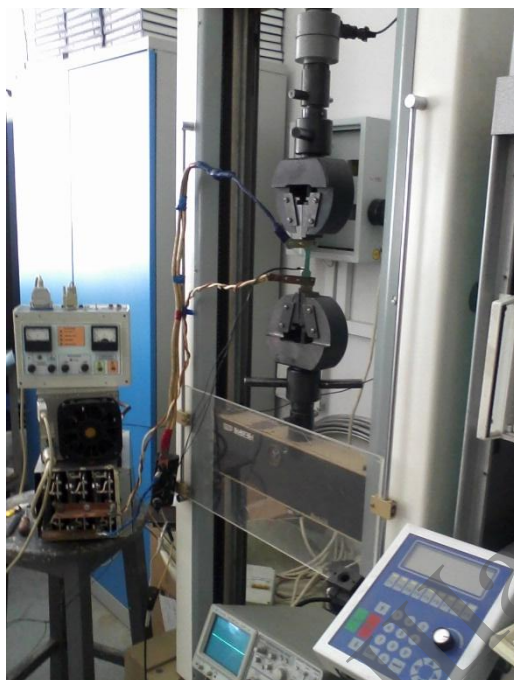
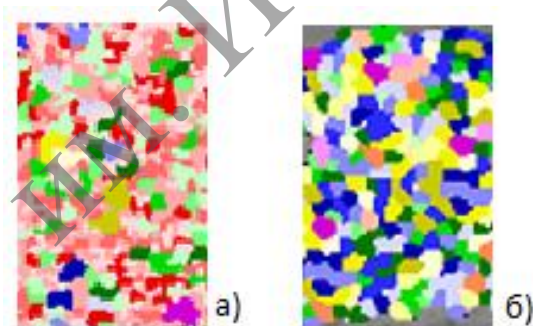
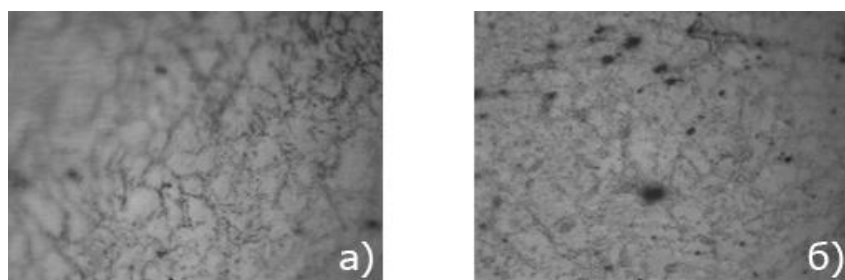


Рисунок 1. – Специальный стенд для испытания образцов на разрыв с записью зависимости величины растягивающей силы от времени



а) без тока, б) с током

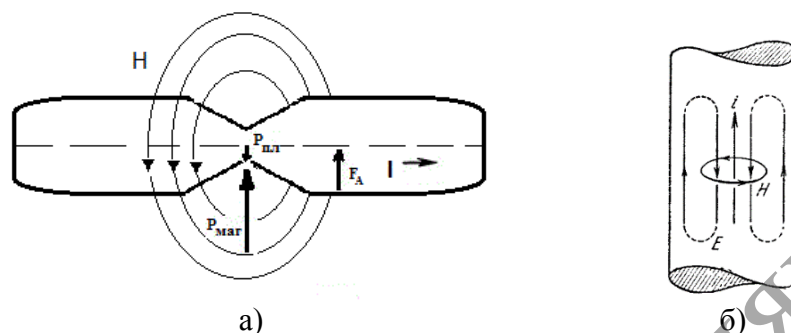
Рисунок 2. – Морфология образцов (100х)



а) без тока, б) с током

Рисунок 3. – Микроструктура образцов (100х)

Пондеромоторное пинч-действие импульсного тока обуславливает появление собственного магнитного поля в виде силовых кольцевых линий напряженности вокруг электронной плазмы движущихся зарядов, смещая их к оси образца в поперечном направлении под действием поля Холла, что приводит к перераспределению напряженности магнитного поля H в приповерхностных слоях металла (рисунок 4).



а) модель пондеромоторного пинч-действия импульсного тока;
 б) вытеснение переменного тока на поверхности образца, ток нарастает
 Рисунок 4. – Пондеромоторный эффект

Возникновение скин-эффекта обуславливается действием высокочастотного тока, индуцирующего вихревые токи в проводнике, которые препятствуют равномерному распределению плотности тока по поперечному сечению проводника, при этом плотность тока на оси оказывается меньше, чем у его поверхности.

Таким образом, для технологических расчетов реализации электронно-пластической деформации при различных способах обработки металлов давлением необходимо учитывать физические условия создания пондеромоторных эффектов для динамического пинч- и скин-эффектов в упругой пластической деформации металлов с участием собственного магнитного поля тока.

Вывод. Экспериментальные результаты показали, что при реализации явления электропластичности улучшается микроструктура металла, что, как правило, реализуется созданием микрозернистого строения металла при уменьшении размера зерна.

Практическая значимость результатов заключается в установлении возможности варьирования структуры, физических и механических свойств металлических изделий, подвергающихся пластической деформации в условиях внешних энергетических воздействий

Влияние электрических потенциалов на свойства металлов и сплавов, подвергающихся пластической деформации, можно использовать для разработки технологий управления процессами обработки давлением путем подведения электрических потенциалов или создания контактной разности потенциалов в контактных парах.

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

ELECTRON-PLASTIC DEFORMATION OF METALS IN THE CONDITIONS OF STATISTICAL LOAD

Summary. Electroplastic deformation of stainless steel specimens under the action of single current pulses with a density of $\sim 10^5$ A / cm² and a duration of $\sim 10^{-4}$ s is considered under continuous tension with a static load. Samples were tested for tearing on a special stand with a record of the dependence of the tensile force on time.

Keywords: deformation, electric current pulse, tension, microstructure, grain refinement.