

ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

¹Белявин К.Е., ¹Минько Д.В., ¹Пономарев Т.С.,
²Угурчиев У.Х., ²Столяров В.В.

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, timofeus@tut.by, dminko@tyt.by

²Институт машиноведения РАН, Москва, Россия, vlstol@mail.ru

Электропластический эффект (ЭПЭ) в металлах и сплавах можно использовать в процессах обработки металлов давлением (ОМД) [1]. Как правило, ЭПЭ проявляется в повышении деформируемости металла. Для многих чистых металлов и технических сплавов данный эффект хорошо известен, однако роль вида тока и его режимов изучена мало. Практический интерес представляют длинномерные полуфабрикаты тонкого сечения, в которых ЭПЭ может быть в наибольшей степени востребован для снижения количества технологических переходов и исключения промежуточных отжигов. В этой связи целью исследования было оценить особенности ЭПЭ в сварочной проволоке и установить связь между видом тока и химическим составом проволоки ПСГ 0301 (углеродистая сталь) и ER 308LSi (нержавеющая сталь) диаметром 0.8 и 1.0 мм, соответственно. В технологии получения обоих материалов применяется множество этапов нагрева, прокатки, волочения и промежуточных отжигов.

ЭПЭ исследовали при комнатной температуре на горизонтальной разрывной машине ИР 5047-50-10 при растяжении со скоростью 0.5 мм/мин по режимам: без приложения тока; одиночные импульсы (максимальная плотность тока $j=280\text{A}/\text{мм}^2$, длительность импульса $\tau=100\text{мкс}$ продолжительность воздействия током = 1с); многоимпульсный ток ($j=280\text{A}/\text{мм}^2$ $\tau=100\text{мкс}$); постоянный ток ($j=5\text{A}/\text{мм}^2$). Температуру образца в процессе растяжения измеряли с помощью термодпары, закрепленной в центре расчетной длины ($l_p=40\text{мм}$). Она составляла 25°C (без тока), 50°C (одиночные импульсы), 280°C (многоимпульсный ток), 250°C (постоянный ток).

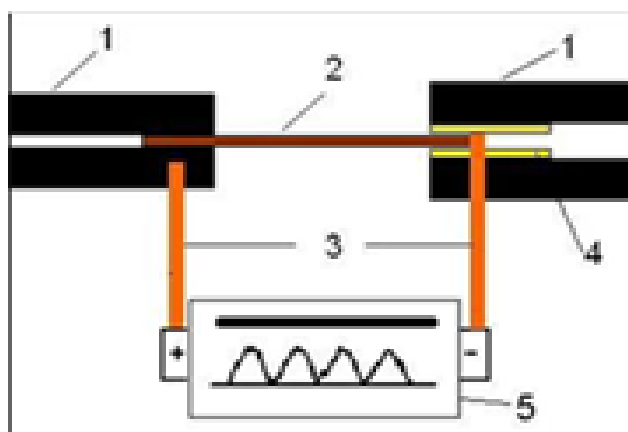


Рисунок 1 - Схема подвода тока к образцу: 1. Захваты; 2. Образец; 3. Медные шины для подвода тока; 4. Изоляционный материал; 5. Генератор импульсного тока (ГИТ).

Образцы из сварочной проволоки перед растяжением отожгли при температуре 1000°C и охлаждены в печи, чтобы создать равновесную структуру феррит + перлит (стальная проволока) и аустенит (нержавеющая проволока). Схема подвода тока к захватам показана на рис. 1. ЭПЭ исследовали путем сравнения кривых растяжения для образцов сварочной проволоки, деформируемых с приложением тока и без приложения тока.

На рис.2 и 3 приведены кривые растяжения «напряжение-деформация»

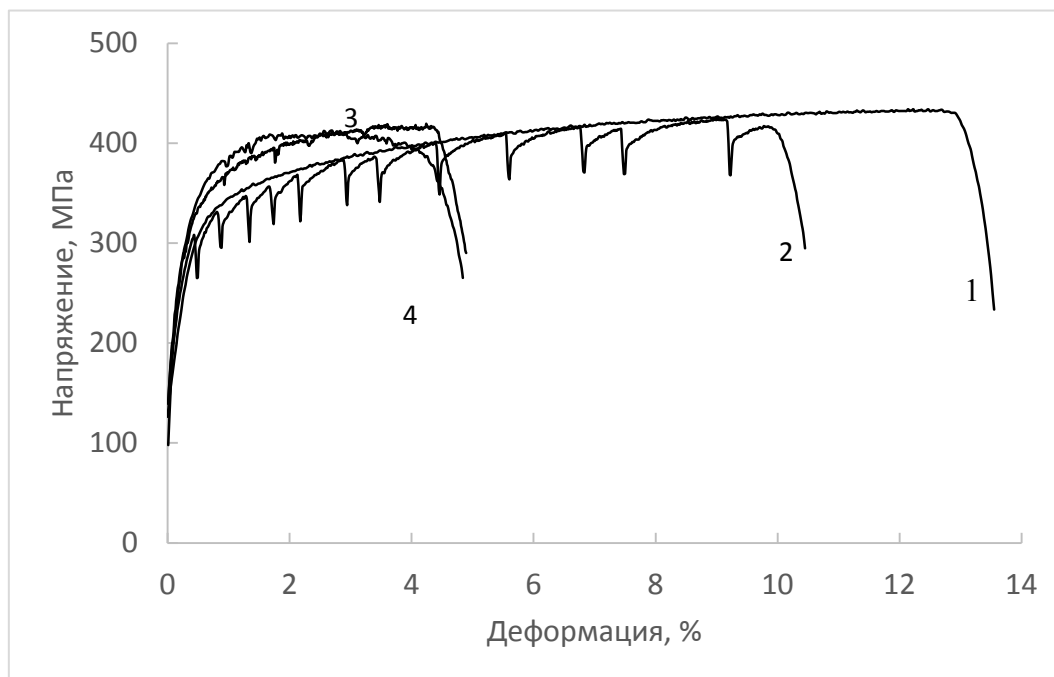


Рисунок 2 - Деформационные кривые проволоки ПСГ-0301: без тока (1); с импульсным током (2); многоимпульсный ток (3); постоянный ток (4).

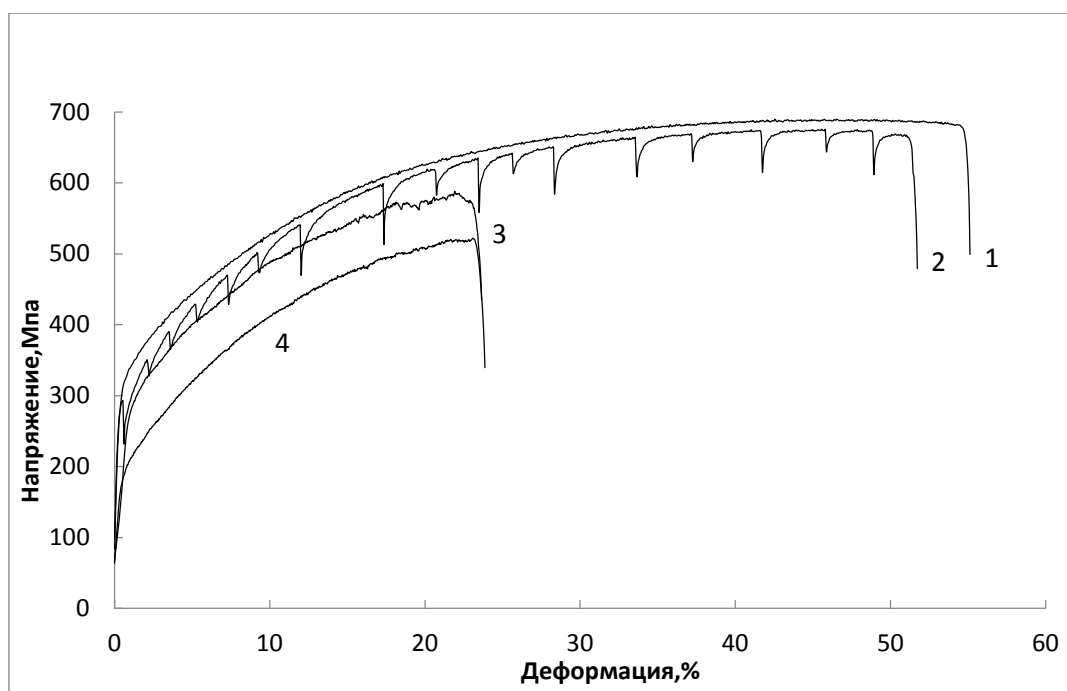


Рисунок 3 - Деформационные кривые проволоки ER 308LSi: без тока (1); с импульсным током (2); многоимпульсный ток (3); постоянный ток (4).

Результаты показывают, что прочность и пластичность проволок, деформируемых без тока и с током, зависят от материала. Прочность и относительное удлинение нержавеющей проволоки при всех режимах тока на 100-300 МПа и на 15-40%, соответственно, выше этих же характеристик для углеродистой проволоки. Этот факт объясняется различием в структурно-фазовом составе проволок и не зависит от вида тока. К особенностям непосредственно ЭПЭ в обоих материалах можно отнести то, что одновременно прочность и пластичность резко уменьшаются при введении тока, особенно сильно для постоянного и многоимпульсного тока. Анализ показывает, что причиной является образование шейки при растяжении образцов проволоки, в результате чего резко повышается плотность тока и, соответственно температура. Одиночные импульсы тока практически повторяют форму кривой без тока, не влияют на прочность проволоки и в меньшей степени снижают пластичность до разрушения. Сравнивая поведение кривых для разных режимов тока и максимальные температуры в процессе растяжения можно предположить, что влияние тока в первую очередь связано с тепловым эффектом, который максимален для постоянного тока и минимален для одиночных импульсов.

Отметим, что ЭПЭ, наблюдаемый в виде скачков напряжения вниз с амплитудой около 50 МПа при введении одиночных импульсов, является типичным для многих материалов без фазовых превращений [1].

Таким образом, подтверждено, что ЭПЭ является зависимым от химического состава стали и режимов вводимого тока. Вклад ЭПЭ увеличивается с уменьшением интенсивности тока (одноимпульсный ток) и практически замещается тепловым эффектом при повышении энергии тока (многоимпульсный ток и постоянный ток).

Литература

1. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д., Физические основы и технологии обработки современных материалов, Т. 1, 2004.

2. Stolyarov V.V., Deformability and nanostructuring of shape memory TiNi alloys during the electroplastic rolling, Mater. Sci. Eng. A, 503 (2009), 18-20.

3. Misochenko A.A., Fedotkin A.A., Stolyarov V.V., Influence of grain size and electric current regimes on deformation behavior under tension of shape memory alloy $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$, Materials Today Proceedings, 4 (2017) 4753-4757.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Ф.С. Беляев, А.Е. Волков, М.Е. Евард, А.А. Хворов

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия,
E-mail: belyaev_fs@mail.ru*

Сплавы с памятью формы (СПФ) в приложениях часто применяются в условиях циклически изменяющихся температур, деформаций и напряжений, что может привести к их усталостному разрушению. В связи с этим возникает задача расчета усталостной прочности и прогнозирования срока службы элементов из СПФ. В данной работе предлагается метод описания усталостного разрушения с помощью разработанного критерия разрушения, встроенного в ранее разработанную микроструктурную модель деформационного поведения СПФ [1]. Данная модель описывает механизмы деформации СПФ с использованием физических закономерностей этих процессов на микроуровне и с учетом влияния структурных уровней деформации. Построение условий превращения и микропластического течения производится в терминах обобщенных термодинамических сил. Модель учитывает энергию взаимодействия вариантов мартенсита и их рост в виде согласованных пар, что позволяет более точно описать обратимую фазовую деформацию. Расчет необратимой микропластической деформации, обусловленной аккомодацией мартенсита, производится совместно с расчетом плотностей ориентированных и рассеянных деформационных дефектов, ответственных за трансляционное и изотропное упрочнение.

Для описания разрушения предложен новый критерий разрушения на микроуровне, учитывающий влияние гидростатического давления, касательных напряжений, их концентрацию, создаваемую ориентированными дефектами, а также снижение предела прочности из-за поврежденности материала: