

УДК 534.8:535.5

*В. С. Савенко, С. Д. Шаврей, М. Б. Соловьев, А. Л. Марцевич***ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ДЕФОРМАЦИОННОМ АЛЮМИНИИ**

В статье представлены результаты явления электропластичности деформационного алюминия. Показано изменение механических характеристик: временного сопротивления G ; относительного удлинения Δl ; удельного сопротивления p от истинного сужения L_i , а также параметры кристаллической решетки, размеры блоков и микроискажения пяти образцов алюминия, деформированного при различных значениях плотности и полярности действия тока. Показано, что наложение импульсного тока на зону деформации во время электропластического волочения приводит к изменению деформационных процессов и, как следствие, влияет на механические характеристики алюминиевой проволоки после деформации, что приводит к улучшению служебных характеристик изделия, сокращению энергетических затрат в технологическом процессе.

Введение

Для интенсификации технологических процессов и устранения неоднородности пластической деформации при обработке металлов давлением используют явление электропластичности, которое возникает при наложении на зону деформации импульса тока большой плотности ($\sim 10^3$ А/мм²) и малой продолжительности ($\sim 10^{-4}$ с). Действие тока в этом случае не вызывает существенного нагрева металла и поэтому принципиально отличается от джоулевого эффекта, лежащего в основе электроконтактного нагрева. Изменение пластических свойств металла в этом случае происходит без заметных изменений его прочности [1], [2]. Взаимодействие деформируемого металла с электрическим током большой плотности приводит к снижению сопротивления металла деформированию и меняет его служебные характеристики.

Достаточно широко изучены и внедрены процессы электропластической деформации при обработке металлов давлением для волочения медной и стальной проволоки [3], а также проволок из других технически важных металлов [4]. Исследование электропластической деформации на стандартном волочильном стане при многоходовом технологическом цикле, а также изучение электромеханических характеристик алюминиевой проволоки в условиях электропластического волочения еще не проводились.

Результаты исследования и их обсуждение

Алюминиевая катанка марки АКЛП-5 ПТ полутвердая с максимальным сечением 196 мм² ($d = 14$ мм) подвергалась электропластическому волочению на волочильном станке СМВ-1-9М4. В процессе волочения осуществлялся подвод импульсного тока к алюминиевой проволоке для каждой волюки, установленной на волочильном стане согласно технологического маршрута волочения (максимальное количество волок – 9). Импульсы тока подавались генератором мощностью 70 кВт. Электрическое сопротивление каждого контактного узла электропластического волочения при натянутой алюминиевой проволоке не превышало значения $R = 0,005$ Ом.

Применялись следующие режимы волочения: обычное волочение без подвода тока; электропластическое волочение с импульсным током до 1000 А/мм², пропускаемым через зону деформации, при полярности плюс источника тока до зоны деформации; тоже с полярностью минус источника тока до зоны деформации.

Электрическое сопротивление метровых образцов проволок измерялось по мостовой компенсационной схеме на УПИП-60 М (класс точности 0,1), а удельное электросопротивление рассчитывалось по усредненному диаметру проволоки, измеренному микрометром (с точностью до 1 мкм). Механические свойства – разрывное усилие и относительное удлинение – измерялись на разрывной машине РМУ – 0,05 с точностью 1% (относительное удлинение определялось на базе 200 мм). Рентгеноструктурные исследования проводились дифрактометром ДРОН-4 на медном излучении.

Изучение зависимости числа перегибов n от истинного сужения $L_i = d_o/d_n$, где d_o – начальный диаметр проволоки, d_n – диаметр проволоки после n -перегиба (рисунок 1) показало, что наложение импульсного тока на зону деформации во время электропластического волочения

деформационного алюминия приводит к увеличению числа перегибов. С ростом глубины проработки током материала, т. е. с уменьшением диаметра проволоки, эффект возрастает и наиболее выражен при полярности плюс источника тока до зоны деформации.

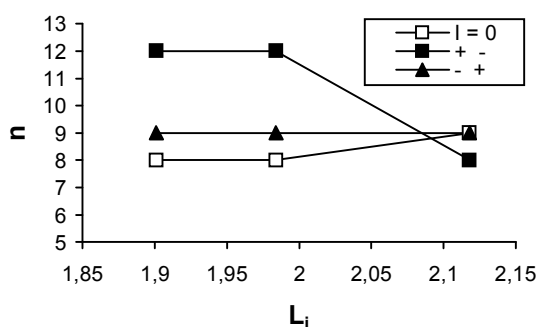


Рисунок 1 – Зависимость числа перегибов (n) от истинного сужения (L_i)

Этот вывод подтверждает и зависимость временного сопротивления G от истинного сужения $L_i = d_o/d_n$ (рисунок 2). Как видно из анализа графиков при электропластической деформации на последнем этапе волочения L_i более чем в 2 раза меньше, чем без тока.

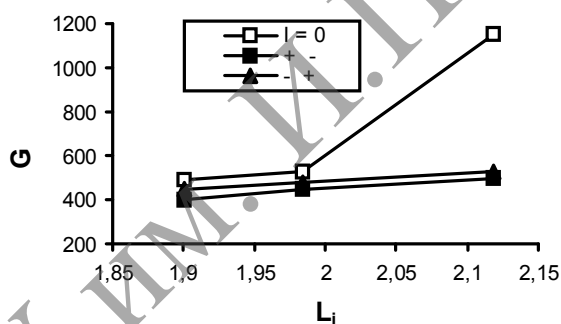


Рисунок 2 – Зависимость временного сопротивления (G) от истинного сужения (L_i)

Электропластическое волочение приводит к увеличению относительного удлинения и уменьшению удельного сопротивления алюминиевой проволоки (рисунки 3–4), что является показателем улучшения служебных характеристик изделия.

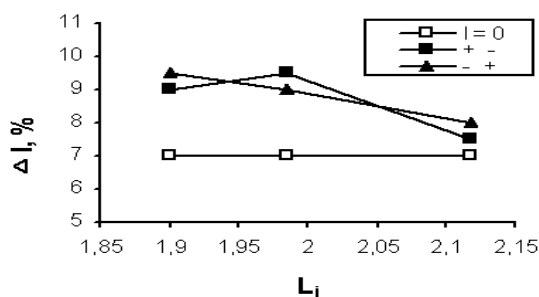


Рисунок 3 – Зависимость относительного удлинения (Δl) от истинного сужения (L_i)

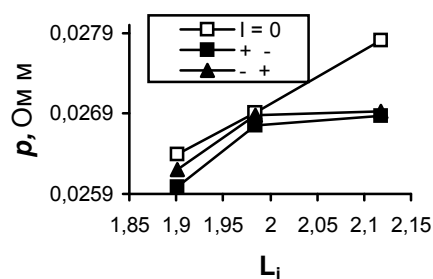


Рисунок 4 – Зависимость удельного сопротивления (ρ) от истинного сужения (L_i)

Этот вывод подтверждает и зависимость временного сопротивления σ от истинного сужения $L_i = d_0/d_n$ (рисунок 2). Как видно из анализа графиков при электропластической деформации на последнем этапе волочения L_i более чем в 2 раза меньше, чем без тока.

Таким образом, наложение импульсного тока на зону деформации во время электропластического волочения приводит к изменению деформационных процессов и, как следствие, влияет на физико-механические характеристики алюминиевой проволоки после деформации, что приводит к уменьшению металлоемкости изделия, сокращению энергетических затрат в технологическом процессе.

Электропластическая деформация изменяет внутреннюю структуру деформируемых материалов. В результате рентгеноструктурных исследований получено, что деформация в режиме электропластического волочения дает более равновесную структуру, чем обычное волочение. При деформации полярностью плюс источника тока до зоны деформации происходит более существенное измельчение структуры, и деформация осуществляется при больших микроискажениях.

На фотографиях приведены изображения продольных шлифов образцов, полученных после деформации без тока (рисунок 5) и с током полярностью плюс источника тока до зоны деформации (рисунок 6). Под влиянием тока большой плотности происходит измельчение микроструктуры шлифа. Размеры зерен алюминиевой проволоки, деформированной без тока, на много больше, чем с током, что свидетельствует о достаточно высоком уровне остаточных напряжений. Измельчения зерен тем выше, чем больше плотность тока. По мере нарастания деформации происходит дробление зерен с уменьшением фрагментации, также увеличивается разориентация зерен. Формируются размытые текстурные максимумы, характерные для мелких зерен и блоков. Импульс электрического тока, проходящий через деформационное поле проволоки во время волочения, приводит к повышению пластичности исследуемых образцов, зерна в большей степени деформируются и приобретают неравноосную форму. Деформированные зерна располагаются своим минимальным сечением параллельно плоскости шлифа. При этом растет степень совершенства аксиальной текстуры алюминиевой проволоки.

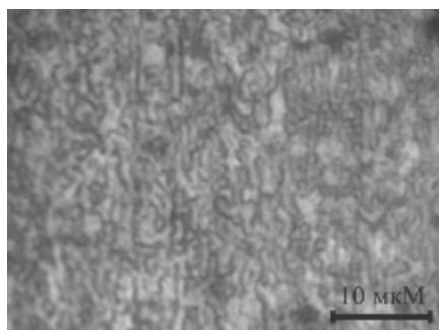


Рисунок 5 – Микроструктура деформированной волочением алюминиевой проволоки. Без тока

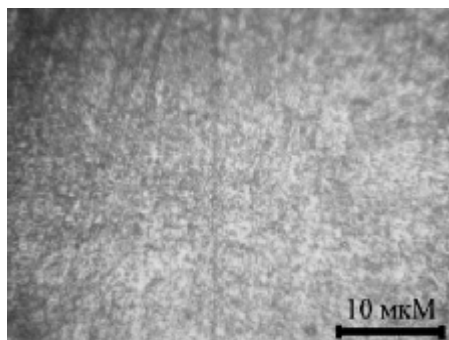


Рисунок 6 – Микроструктура деформированной волочением алюминиевой проволоки. С импульсом тока 1000 А/мм^2 , длительностью 10^{-4} с

Микроискажения в поперечных шлифах проволок, протянутых при направлении тока от плюса к минусу, составляют $0,74 \cdot 10^{-4}$, при направлении тока от минуса к плюсу $1,34 \cdot 10^{-4}$, деформация проволок по режиму от плюса к минусу дает меньшее искажение в проволоке, чем при направлении тока от минуса к плюсу, что хорошо согласуется с теоретическими представлениями теории электропластичности (рисунок 7).

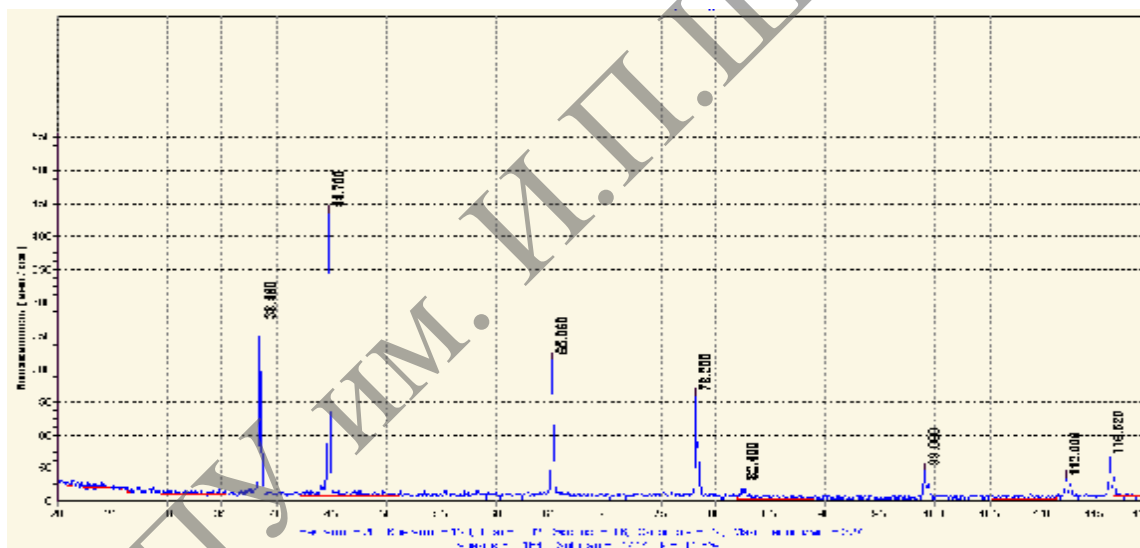


Рисунок 7 – Рефрактограмма для деформационного алюминия, деформированного током с параметрами перехода 2,64–2,48 мм при направлении тока от плюса к минусу

Размеры областей когерентного рассеяния максимальны у образцов, деформированных при токе от минуса к плюсу, минимальны при деформации от плюса к минусу, при отсутствии тока имеют промежуточные значения (таблица). Таким образом, можно сделать вывод, что деформация по режиму от минуса к плюсу дает более равновесную структуру, чем деформация без тока, деформация по режиму от плюса к минусу – наиболее искаженную структуру. При деформации от плюса к минусу происходит более существенное измельчение структуры и деформация осуществляется при больших микроискажениях (таблица).

Таблица

№ образца	Параметры перехода, мм	Параметр кристаллической решетки (a), Å	Размер блоков (D), Å	Микроискажения (ε), Å
16 + → -	2,64-2,48	4,0540	611,58	0
17 - → +	2,64-2,48	4,0535	627,58	$1,20 \cdot 10^{-4}$
18 (без тока)	2,64-2,48	4,0540	598,28	-
19 + → -	2,48-2,37	4,0543	423,97	$0,74 \cdot 10^{-4}$
20 - → +	2,48-2,37	4,0532	490,22	$1,97 \cdot 10^{-4}$

Выводы

Электропластическая деформация оказывает существенное влияние на физико-механические характеристики изделия. Увеличивается относительное удлинение, число перегибов, незначительно падает временное сопротивление. Электропластическое волочение приводит к уменьшению удельного сопротивления, что открывает определенные возможности в упрощении технологического процесса изготовления алюминиевой проволоки с улучшенными служебными характеристиками путем замены обычного волочения электропластическим с исключением из технологического цикла операций энергозатратного отжига. Кроме этого, предложенная технология волочения, по сравнению с обычной, снижает усилия деформации, что приводит не только к снижению энергетических затрат, но и повышает ресурс стана, в том числе износостойкость деформационных деталей волок.

Литература

1. Савенко, В. С. Механическое двойникование и электропластичность металлов в условиях внешних энергетических воздействий / В. С. Савенко. – Минск : БГУ, 2003. – 200 с.
2. Savenko, V. S. Influence of electroplastic deformation on physicomachanical characteristics of deformation aluminum / V. S. Savenko // First Russia-China Joint Symposium on the electroplasticity effect in metals Shenzhen, China, May 31 – June 4, 2007. – S. 218.
3. Савенко, В. С. Влияние электропластического волочения на физико-механические характеристики деформационного алюминия / В. С. Савенко, О. А. Троицкий // XVII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные 90-летию со дня рождения профессора А. Н. Орлова : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, 2007. – С. 64.
4. Спицын, В. И. Электропластическая деформация металлов / В. И. Спицын, О. А. Троицкий. – М. : Наука, 1985. – 160 с.
5. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов [и др.]. – М. : МГИУ, 2001. – 844 с.
6. Преимущества электропластической прокатки (ЭПП) и электропластического волочения (ЭПВ) золота, серебра, меди и стали, а также вольфрама, молибдена и ниобия / В. С. Савенко [и др.] // Современные технологии в области производства и обработки цветных металлов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : ИМАШ РАН, 2006. – С. 19.

Summary

Processing of metals by pressure has wide application in the industry and is based on use characteristic for metals of property of plasticity. Plasticity of a material is one of the major characteristics at manufacturing wires from copper, aluminum, tungsten.

Поступила в редакцию 08.07.08.