

**В.С. САВЕНКО, А.Г. СИЛИВОНЕЦ, С.А. ЕРМОКОВЕЦ**  
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ МАГНИЯ**

Технология электропластической прокатки позволяет уменьшать или устранять определенные недостатки, которые возникают при нежелательных структурно-фазовых превращениях (при холодной обработке металла давлением), так при обработке металлов после переходов проводят дорогостоящие и энергоемкие операции промежуточных отжигов [1]. Для реализации электропластической прокатки можно использовать как постоянный, так и импульсный ток. При пропускании импульсного тока через металл решается проблема нагрева. В качестве исследуемого металла выбран магний, который, как и его сплавы, широко используется в современной технике, благодаря низкой плотности, что позволяет существенно снижать вес изделий используемых в ракетостроении, авиационной и автомобильной промышленности.

В работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования влияния импульсного тока плотностью  $10^3 \text{ А/мм}^2$  длительностью  $10^{-4} \text{ с}$  и частотой 600 – 800 Гц для электропластической многоходовой прокатки магния (35 переходов) с конечными геометрическими параметрами: толщина – 1мм, ширина – 4мм. Скорость движения заготовки во время электропластической прокатки составила  $V_d = 0,5 \text{ м/с}$ .

Определим протяженность участка заготовки между валками  $\Delta l$ :

$$F = k \frac{V_d}{\Delta l}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент порядка 2, имеющий смысл числа импульсов приходящихся на каждый участок заготовки  $\Delta l$  между валками;

$F$  – частота следования импульсов.

$$\Delta l = \frac{kV_d}{F} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}. \quad (2)$$

Скважность импульсного процесса составит:

$$Q = \frac{1}{F\tau} = 12.5 \quad (3)$$

Средний ток, который проходит по движущейся полосе во время электропластической прокатки, равен:

$$I_{\text{ср}} = J_m \frac{1}{Q} = 80(\text{А}), \quad (4)$$

что значительно меньше, чем на постоянном токе.

Оценим сопутствующий электропластическую прокатку тепловой эффект при использовании импульсного тока [2]. Для начала определим эффективные значения силы последовательности импульсов тока, исходя из условия (5):

$$W = k_3 \int_0^{\tau_n} J^2(t) dt = k_3 J_{\text{эф}}^2 T_n, \quad (5)$$

где  $k_3$  – коэффициент, равный активному сопротивлению рабочей зоны и принимает значения 10 Ом;

$T_n$  – период повторения импульсов.

Средняя эффективная сила тока  $J_{\text{эф}}$  ответственная за сопутствующий тепловой эффект:

$$J_{\text{эф}} = J_m \sqrt{\frac{\tau_n}{T_n}} = \frac{J_m}{\sqrt{Q}} = 282.8(\text{А}), \quad (6)$$

что больше, чем средний ток, который проходит по движущейся полосе во время электропластической прокатки.

Тепловой эффект  $W_{\text{п.т.}}$  пропорционален  $J_{\text{эф}}^2$ :

$$W_{\text{п.т.}} = k_3 J_{\text{эф}}^2 t, \quad (7)$$

где  $t$  – время нахождения каждого участка движущейся заготовки между контактами.

Оценим  $t$  время пребывания каждого участка заготовки в рабочей зоне электропластической прокатки:

$$t = \frac{l}{v_d} = \frac{0.20}{0.5} = 0.6(\text{с}), \quad (8)$$

где  $l$  – расстояние между контактами, равное 20 см.

Период повторения импульсов  $T_n$  при  $F=800\text{Гц}$  равен  $1,25 \cdot 10^{-3}\text{с}$ . Тогда из  $J_{\text{эф}}^2 T_n = J \tau_n$  следует, что  $J=99,97 \text{ А/мм}^2$ , подставляя его в (7), определим тепловой эффект для импульсного тока электропластической прокатки магния:

$$W_{\text{п.т.}} = k_3 J^2 t = 6 \cdot 10^4 (\text{Дж}). \quad (9)$$

Определим влияние скорости прокатки на параметры электропластической прокатки. Так уменьшение скорости движения заготовки приведет к увеличению времени пребывания каждого участка заготовки в рабочей зоне электропластической прокатки. При этом частота следования импульсного тока также уменьшится, в соответствии с (1). Следовательно, уменьшение скорости движения заготовки не скажется существенным образом на соотношении теплового действия импульсного тока [2].

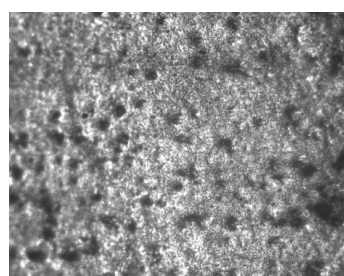
Уменьшение  $V_d$  оказывает положительное влияние на электропластическую прокатку, так как скорость дрейфа электронов  $U_{\text{др}} = \frac{J_m}{en}$  в условии сохранения амплитудных значений  $J_m$  и будет превышать скорость пластической деформации

металла  $V_d$  в рабочей зоне электропластической прокатки, при этом будет выполняться необходимое для реализации электропластического эффекта условие  $\vec{U}_{др} > \vec{V}_d$ .

В условиях резкого десятикратного сокращения времени (пребывания каждого участка между валками) электропластическое действие тока будет реализовываться только в приповерхностном слое образца:

$$h_{min} = U_{др} t = 0.5 \cdot 10^{-4} = 0.05(\text{мм}). \quad (10)$$

Таким образом, электропластический эффект ограничен по скоростям прокатки – не более 0,5 м/с. Так, технологию электропластической прокатки целесообразно осуществлять при низких и средних скоростях прокатки, либо высокоскоростную, но на очень тонких заготовках [3].



а)



б)

**Рисунок – Структура образца магния после электропластической прокатки (35 прокаток) без тока (а) и с током (б) при десятикратном увеличении**

**Вывод.** Результатом пропускания импульсного тока  $10^3 \text{А/мм}^2$  через образец магния во время электропластической прокатки является появление большого числа равномерно распределенных мелких флуктуаций. Линии имеют более правильную форму (рисунок а), чем у образца после обычной прокатки, где идет искажение относительно более редкими флуктуациями (рисунок б). При электропластической прокатке направление тока совпадало с направлением сжимающих напряжений, предположительно, должна ожидать интенсификация деформации сжатием под действием электронно-пластического эффекта и, как следствие, текстура прокатки более совершенна за счет облегчения действия кристаллографических механизмов пластической деформации. Однако наблюдается противоречивая картина, которая заключается в задержке текстурообразования, вследствие торможения кристаллографического скольжения. В данном случае прокатки кристаллические блоки перемещаются друг относительно друга по зернограницным прослойкам, которые лежат в области прокатки. Исходная текстура при этом не совершенствуется, но и не ослабляется.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, Ю.В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю.В. Баранов [и др.]. – М.: МГИУ, 2001. – 844 с.
2. Савенко, В.С. Фундаментальные и прикладные исследования электропластической деформации металлов / В.С. Савенко, О.А. Троицкий – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 375 с.
3. Савенко, В.С. Электропластическая правка и прокатка стали. / В.С. Савенко и др. – Известия АНБ, сер. физ. – техн. наук. – 1994. – №1. – С.4