

В. С. САВЕНКО, Н. В. СТЕПАНЕЕВ, И. А. ПРОЦКО
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

РАСЧЕТ ПОНДЕРОМОТОРНЫХ ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ АЛЮМИНИЯ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния импульсного тока плотностью 10^3 А/мм^2 и длительностью 10^{-4} с, частотой 500 Гц на реализацию электропластической деформации. Материалом для исследования был выбран алюминий, который используется в современной технике из-за низкой плотности и высокой прочности, вследствие чего снижается вес изделий и конструкций, применяемых в различных сферах промышленности.

При пропускании импульсного тока плотностью 10^3 А/мм^2 и длительностью 10^{-4} с реализуется явление электропластичности, которое обуславливает ультразвуковые вибрационные колебания кристаллической решётки за счёт пондеромоторных факторов, динамического пинч-эффекта [1].

Под влиянием собственного магнитного поля тока, которое кольцевыми линиями охватывает образец, возникает поляризация электронной подсистемы металла и, как следствие, появление поперечного электрического поля Холла.

Импульсный ток оказывает на деформируемый металл пондеромоторное действие, обусловленное периодическим сжатием образцов в радиальном направлении собственным магнитным полем тока и возбуждением в образцах упругих колебаний с частотой следования импульсов. Также известно, что при одной и той же плотности тока пластический эффект выражен ярче, чем больше радиус использованных образцов, а также чем меньше электрическое сопротивление.

Для расчета напряженности магнитного поля и плотности тока внутри образца была реализована многоходовая прокатка алюминия с конечными параметрами после 35 переходов: ширина – 4 мм, толщина – 1 мм.

Учитывая физические параметры и константы:

$\sigma = 3,7 \times 10^7 \text{ Ом/м}$ – удельная проводимость алюминия;

$\mu = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ Н/А}^2$ – магнитная постоянная для алюминия;

$j = 10^3 \text{ А/мм}^2$ – плотность тока;

$S = 4 \text{ мм}^2$ – площадь поперечного сечения проводника;

$r = 0,4 \text{ мм}$ – радиус образца;

$\tau = 10^{-4} \text{ с}$ – длительность импульсов тока;

$\omega = 500 \text{ Гц}$ – частота следования импульсов.

Определим величину собственного магнитного поля, возникающего от пондеромоторных факторов при электропластической деформации с помощью математического пакета Matlab.

```

Editor - D:\RAS4ET_MP.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 % исходные данные
2 c = 3*10^10; % см/с, электродинамическая постоянная
3 si = 3.7*10^7; % Ом/м, удельная проводимость алюминия
4 m = 1.2566*10^(-6); % Н/А^2, магнитная постоянная для алюминия
5 j = 10^3; % А/мм^2, плотность тока
6 S = 4; % мм^2, площадь поперечного сечения проводника
7 r1 = 0.4; % мм, радиус образца #1
8 r2 = 1.9; % мм, радиус образца #2
9 t = 10^(-4); % с, длительность импульсов тока
10 w1 = 500; % Гц, частота следования импульсов #1
11 w2 = 700; % Гц, частота следования импульсов #2
12 w3 = 900; % Гц, частота следования импульсов #3
13 DM % коэффициент магнитной диффузии
14 Hz(x,t) % значение магнитного поля в образце
script Ln 18 Col 54 OVR

```

Рисунок 1. – Исходные данные для решения задачи

Определяя вещественную часть комплексной функции, найдем собственное магнитное поле в образце как показано на рисунке 2.

```

Editor - D:\RAS4ET_MP.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
64 x=0;
65 Hz(0,t)=Ho.*exp^(-iwt);
66 lambda=Ho;
67 e=0.001;
68 for i=n-1:(-1):1
69     for j=i+1:n
70         if lambda(i,j)~=0
71             Hz(x,t)=Ho.*exp^(-(1-i).*x/bi).*exp^(-iwt);
72         end
73     end
74     Hz(0,t)=Ho.*exp^(-x/bi).*cos(w.*t-(x./bi));
75 end
script Ln 29 Col 5 OVR

```

Рисунок 2. – Нахождение собственного магнитного поля H_z

Рассчитаем плотность тока и напряженность собственного магнитного поля от частоты следования импульсов тока 500 Гц и радиуса образца (0,4 мм) в соответствии с единичным обжатием на технологическом переходе (таблицы 1).

Таблица 1. – Расчет плотности тока и напряженности собственного магнитного поля при частоте следования импульсов тока в 500 Гц

Радиус, R (мм)	0	0,1	0,2	0,3	0,4
Плотность тока, J (А/мм ²)	1020,6538	1018,7631	1015,5418	1013,1683	1007,3217
Напряжённость магнитного поля, H (А/мм)	0	54,0416	108,1368	162,1251	216,2871

На рисунках 3–4 представлены расчетные значения плотности тока и напряженности магнитного поля внутри образца радиуса 0,4 мм частоты следования импульсов тока 500 Гц.

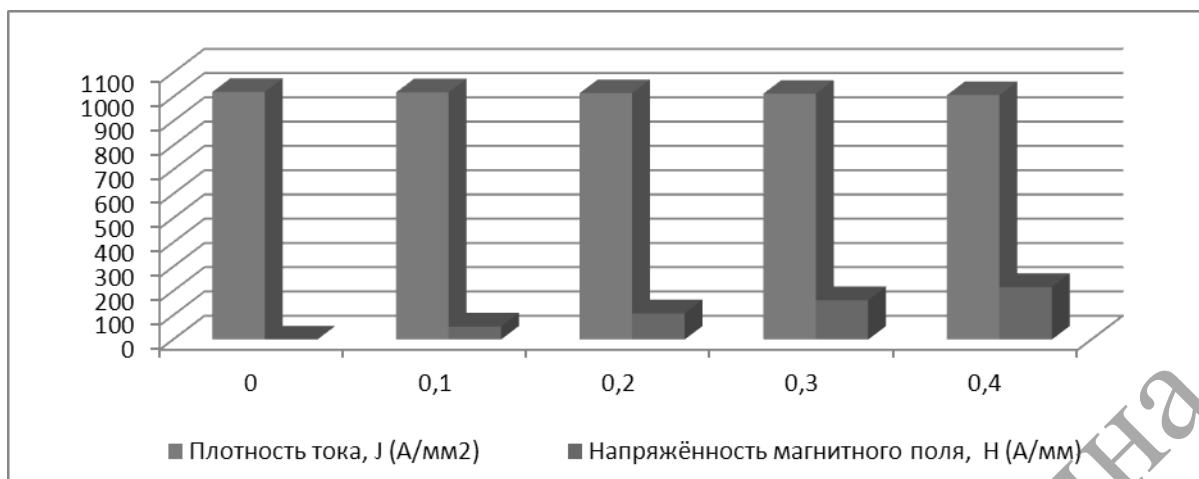


Рисунок 3. – Изменение напряженности магнитного поля и плотности тока от радиуса образца алюминия с частотой следования импульсов 500 Гц

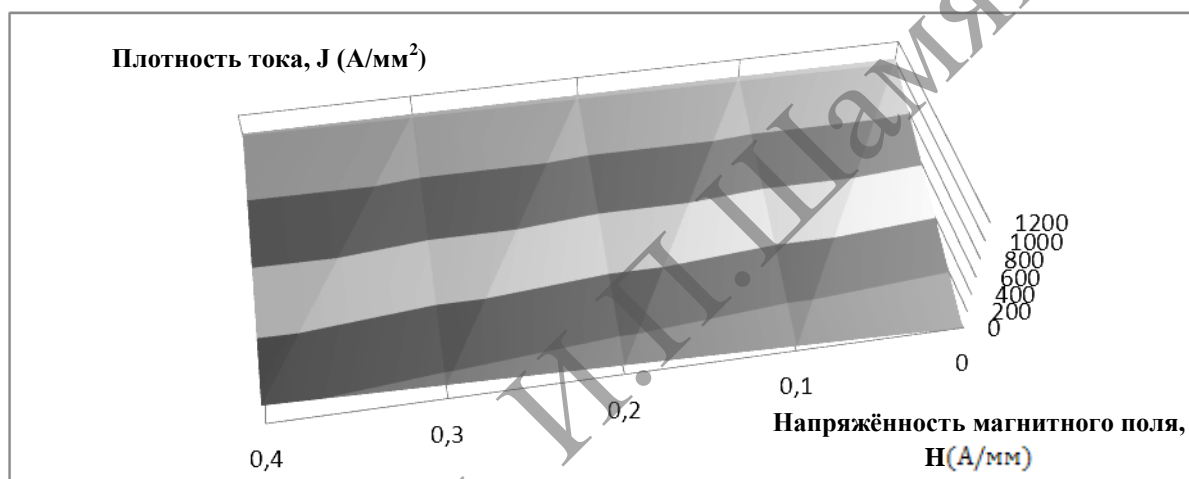


Рисунок 4. – Изменение напряженности магнитного поля и плотности тока от радиуса образца алюминия с частотой следования импульсов 500 Гц

Из диаграммы и графика видно, что напряженность магнитного поля изменяется от оси к стенкам и достигает максимального значения. Плотность тока будет также неравномерно распределяться по сечению образца. Как видно из рисунков, при перемещении от центра к поверхности образца плотность тока уменьшается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савенко, В.С. Вклад пондеромоторных факторов в реализацию электропластической деформации / В.С. Савенко, О.А. Троицкий, А.Г. Силивонец // Известия НАН РБ. Серия физико-технических наук. – 2017. – № 1. – С. 85–91.