

Е. В. ПРОКОПОВИЧ, С. В. КАПОРА, В. С. САВЕНКО
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

ЭЛЕКТРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КРИСТАЛЛА СУРЬМЫ

При пропускании электрического импульса тока через кристалл во время деформации, возникают вторичные эффекты пинч- и скин-эффекты, а также термическое разупрочнение решетки.

Проводя оценку и вклад этих факторов в явление электропластичности при двойниковании кристаллов сурьмы предположим, что на проводник с током прямоугольной формы под влиянием собственного магнитного поля действует сила:

$$F_x = -\frac{1}{8\pi} \frac{\partial(B_z^2)}{\partial x} = -\frac{\partial\sigma_x}{\partial x},$$

где σ_x – механическое напряжение.

Основное уравнение гидромагнетизма применительно к рассматриваемому случаю, имеет вид:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{1}{4\pi} \nabla(\rho \nabla B + \nabla V B).$$

Из последнего выражения следует, что при одной и той же плотности тока, например, $J_m=10^5$ А/см² пинч-эффект будет выражен тем больше, чем больше радиус использованных образцов.

Таким образом, пинч-эффект является масштабным эффектом в том смысле, что он квадратично зависит от радиуса образца r как и от амплитудной плотности тока J_m . Для тонких образцов он практически не наблюдается, при радиусе образца 0,25 мм этот эффект не оказывает какого-либо действия на деформацию титана с током [1–7].

На примере кристалла Sb при плотности тока $j = 1,5 \cdot 10^3 \text{ А/мм}^2$ и радиусе сечения проводника $r = 2 \text{ мм}$ рассчитано собственное магнитное поле тока, возникающее на поверхности проводника $H_m = 3 \cdot 10^3 \text{ (э)}$. При $r = 5 \text{ мм}$ максимальном значении H_m принимает значение $H_m = 4,5 \cdot 10^3 \text{ (э)}$.

Наложение на зону деформации скрещенных электромагнитных полей при таких значениях (график 1) позволяет произвести расчет для оптимального угла α при наложении внешнего магнитного поля в условиях суперпозиции магнитных полей H и H_m при плотности тока $1,5 \cdot 10^3 \text{ А/мм}^2$ и различных радиусах образцов.

Таким образом, видно, что чем больше радиус образца, тем соответственно больше пинч-эффект, который является масштабным эффектом и квадратично зависит от r (а также от j). Следует отметить, что для образцов малого радиуса он не должен наблюдаться, а в образцах, диаметром более 1 мм, могут наблюдаться эффекты нагревания за счет джоулева тепла.

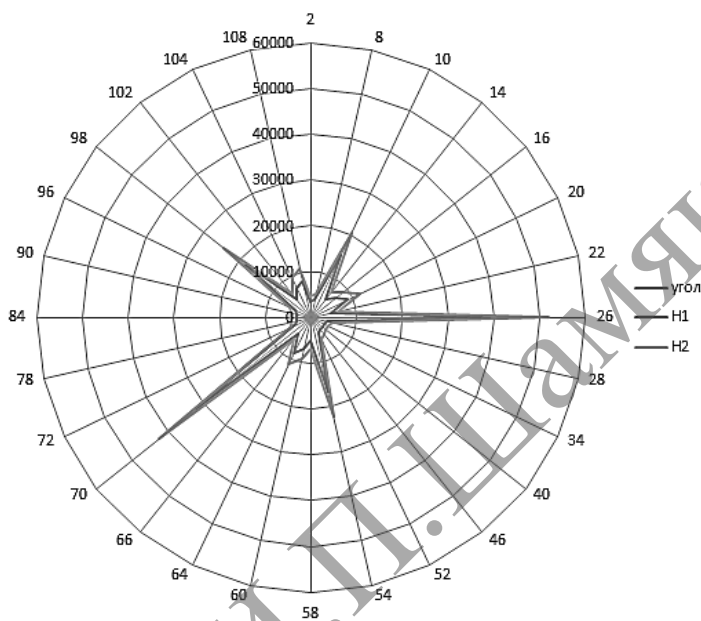


График 1 – Зависимость внешнего магнитного поля H от собственного магнитного поля H_m и угла α между ними

Из графика видно, что максимальное значение внешнее магнитное поле H принимает при угле 26° , при $r = 2 \text{ мм}$ и равно $38,9 \cdot 10^3 \text{ э}$, при $r = 5 \text{ мм}$ $H = 51,8 \cdot 10^3 \text{ э}$.

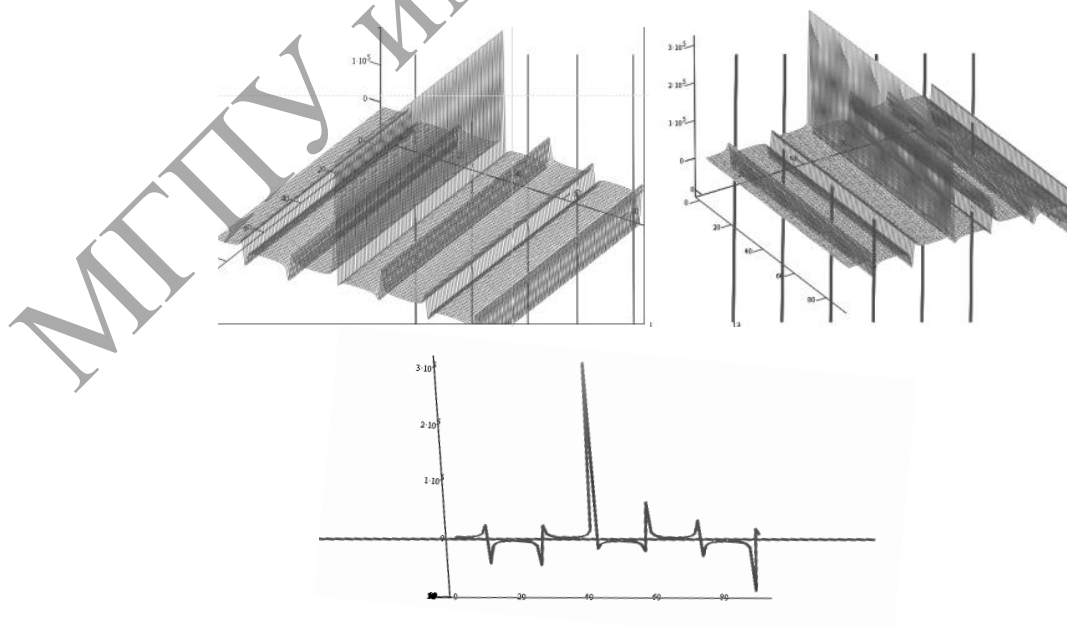


График 2 – Трехмерный график зависимости внешнего магнитного поля H от собственного магнитного поля H_m и радиуса образца r

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцимович, А.А. Управляемые термоядерные реакции / А.А. Арцимович. – М.: Физматгиз, 1961.
2. Владимиров, В.В. Пинч-эффект в плазме твердого тела / В.В. Владимиров // Успехи физических наук. – 1975. – № 1. – С. 79–118.
3. Bennett, W.H. Magnetically self-focusing streams / W.H. Bennett // Phys. Rev. – 1934. – Vol. 45. – P.890.
4. Савенко, В.С. Механическое двойкование и электропластичность металлов в условиях внешних энергетических воздействий / В.С. Савенко. – Минск: БГАФК, 2003. – 203с.
5. Способ повышения пластичности проводящих материалов на основе эффекта: пат. Российской Федерации на изобретение / В.С. Савенко, А.И. Пинчук. – № 2052514; опубл. 1996 // Способ повышения пластичности деталей. – РФ, 1669.
6. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю.И. Баранов, О.А. Троицкий, Ю.С. Авраамов, А.Д. Шляпин. – М.: МГИУ, 2001 – 844 с.
7. Троицкий, О.А. Фундаментальные и прикладные исследования электропластической деформации металлов / О.А. Троицкий, В.С. Савенко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 375 с.

МГТУ им. И.П.Шамякина