

ФІЗИКА

УДК 539.3.620.23

В.С. Савенко, О.А.Троицкий

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ
В СЛОЖНЫХ ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

В ряде работ все шире исследуется фактор увлечения дислокаций направленным потоком электронов на явление электропластичности металлов, в которых показано, что если электрическое поле совпадает с направлением движения дислокаций, то, как следует из [1-4], на дислокацию будет действовать со стороны потока электронов сила. Сила увлечения записывается в виде

$$F_e = \frac{b}{4} \left(-\frac{V_e}{V_d} - 1 \right) \frac{V_d}{V} \cdot \frac{\partial n_0}{\partial \mu} \Delta^2. \text{ Указанная сила положительна, если } \left(\frac{V_e}{V_d} - 1 \right) > 0, \text{ т.е. когда}$$

скорость дрейфа электронов V_e превышает скорость движения дислокаций V_d .

Диссипация энергии, которая будет проходить при движении дислокации, будет прямо пропорциональна коэффициенту динамического торможения дислокации B и ее скорости. Максимальная диссипация энергии равняется:

$$\varepsilon_{\max} = \rho \gamma^2.$$

И если сравнить эту энергию с джоулевым теплом $\varepsilon_{\text{дж}} = \frac{\gamma^2}{\sigma}$ (где σ — электропроводность металлов), то получится отношение:

$$\frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_{\text{дж}}} \sim \rho \sigma.$$

Следовательно, для металлов, обладающих большой электропроводностью, диссипация энергии, обусловленная движением дислокаций под действием электрического поля, может быть сравнима с джоулевым теплом.

В [1, 5] с сотрудниками изучалось электропластическое волочение стали, меди и вольфрама, где показано, что снижение напряжения волочения максимально в том случае, когда в зону действия тока входит область деформированного металла. В результате электропластического волочения проволоки из магнитотвердой стали происходит рост коэрцитивной силы, магнитной энергии, уменьшаются внутренние напряжения в металле [5]. Рентгеноструктурное исследование меди и стали, подвергнутых электропластическому волочению, показало, что после электропластического волочения увеличивается параметр решетки и расширяются области когерентного рассеяния, перераспределяется аксиальная текстура, а в случае нержавеющей проволоки происходит изменение соотношения между γ и σ - фазами в сторону уменьшения σ - фазы, что уменьшает вероятность преждевременного упрочнения стали в ходе волочения. Проволока, прошедшая волочение с током, получается практически лишенной завитков, что свидетельствует об уменьшении внутренних напряжений в металле [6]. Рассмотрим вклад пондермоторных факторов на электропластичность металлов.

В случае деформации кристаллов под действием пинч-эффекта плотность силы, действующей на поверхность кристаллов, пропорциональна градиенту

напряжений: $\vec{f} = \nabla p [\text{кг}/\text{см}^3]$, где $\nabla = \frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k$ – оператор Гамельтона.

Отсюда также следует, что эффективность пондеромоторного действия тока определяется распределением напряженности магнитного поля в приповерхностных слоях деформируемых кристаллов.

Сила, действующая на цилиндрический проводник с током под влиянием собственного магнитного поля, записывается в виде $F_x = -\frac{1}{8\pi} \frac{\partial (B_z^2)}{\partial x} = -\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}$, где σ_x – механическое напряжение в металле. Основное уравнение гидромагнетизма [7-8] применительно к рассматриваемому случаю, являющееся обобщенным законом Ома, имеет вид $\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{1}{4\pi} \nabla(p \nabla B + \nabla V B)$. Первый член приведенного выражения отражает диффузию магнитного поля через проводник с удельным сопротивлением ρ , а второй – изменение магнитного поля, вызванное движением проводника с относительной скоростью V .

На поверхности образца собственное магнитное поле тока принимает максимальное значение H_m , рассчитываемое по формуле $H_m = \frac{2I_a}{10r}$, где I_a – амплитудное значение тока и r – радиус образца. Поскольку $I_a = JS = \pi J r^2$ (где J – плотность тока $\text{А}/\text{см}^2$ и S – сечение образца в см^2), то $H_m \approx 0,63 J r$. Как уже указывалось, механическое давление на поверхность крупных образцов от пинч-эффекта составляет

$p = \mu \frac{H^2}{8\pi}$ [$\text{дн}/\text{см}^2$] или $p \approx 1,6 \cdot 10^{-2} \mu (Jr)^2$. Из последнего выражения следует, что при

одной и той же плотности тока, например, $J = 10^5 \text{ А}/\text{см}^2$, пинч-эффект будет выражен тем больше, чем больше радиус использованных образцов. На основе рассмотренных выше факторов можно предложить способ повышения пластичности проволоки при ее волочении за счет вибрации от пинч-эффекта за зоной деформации.

На рис. 1 приведено устройство для подведения импульсного тока в ходе волочения проволоки с теми же обозначениями элементов устройства, имеющее предназначение создавать активную вибрацию металла заготовки за счет пинч-действия импульсного тока за пределами зоны деформации проволоки и усиления его в скрещенных электромагнитных полях.

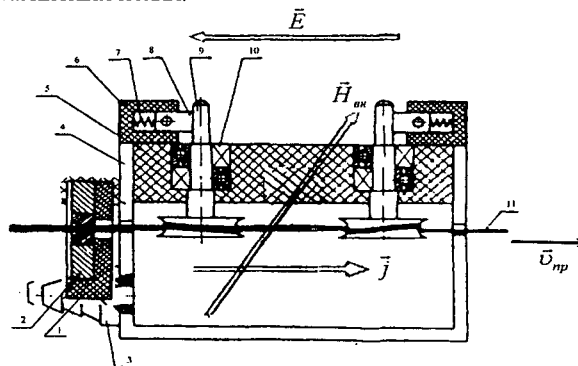


Рис. 1. Устройство для подведения тока в виде вращающихся латунных и меднографитовых щеточных контактов при ЭВП стальной проволоки:
1 – волокодержатель; 2 – волока; 3 – штуцер для подачи эмульсии; 4 – корпус;
5 – стенка; 6 – щеткодержатель; 7 – нажимная пружина; 8 – щетка; 9 – ось;
10 – подшипник; 11 – проволока, проходящая ЭВП

Подобное расположение мест поступления энергии от электрического и магнитного полей исключает электропластическое и тепловое действие тока и может быть применено, когда требуется лишь снизить трение в волоке и полностью исключить тепловое действие тока. Активная вибрация металла заготовки, снижающая ее трение в волоке, задается частотой импульсного тока. Для труднодеформируемых металлов и сплавов предлагается способ повышения пластичности проволоки при ее волочении за счет тепловой подготовки и пинч-эффекта.

На рис. 2 приведено устройство для подведения импульсного тока и создания скрещенных электромагнитных полей, имеющее предназначение создавать тепловую подготовку проволоки за счет Джоулева эффекта и активную вибрацию металла заготовки перед зоной деформации проволоки в волоке.

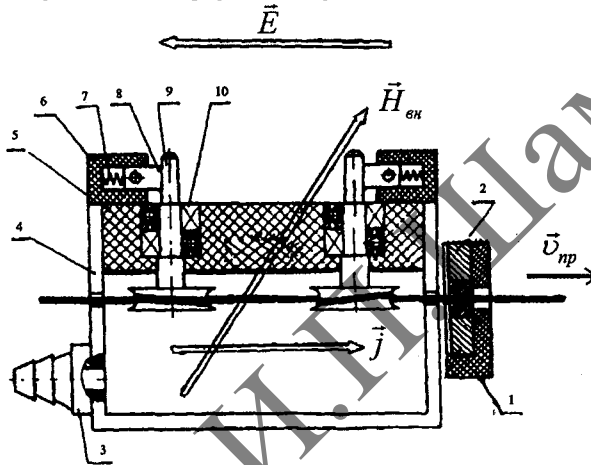


Рис. 2. Способ повышения пластичности проволоки при ее волочении за счет тепловой подготовки и пинч-эффекта

При таком расположении мест поступления энергии от электрического и магнитных полей по-прежнему исключается электропластическое действие тока, но возможна тепловая подготовка проволоки, что необходимо в процессе волочения для специальных видов стали, вольфрама, молибдена и ряда сплавов. Кроме того, при таком способе комбинированного воздействия эффективно снижается трение в волоке за счет активной вибрации металла перед зоной деформации, задаваемой частотой импульсного тока. Для локализации зоны действия тока предложен способ наложения скрещенных электромагнитных полей на зону деформации металла внутри разрезной волоки.

На рис. 3 приведена схема разрезной электропроводящей волоки с внутренним изоляционным слоем 6. Она устанавливается на стандартном стане вместо штатной волоки и позволяет осуществлять электропластическое волочение проволоки при подключении двух изолированных друг от друга половин волоки к источнику импульсного тока. В случае, если тело волоки выполнено из магнитотвердого материала, появляется возможность осуществлять электропластическое волочение проволоки в скрещенных электромагнитных полях, что, как и в предыдущих рассмотренных способах, создает дополнительный механизм пластификации материала и снижает усилия волочения проволоки за счет ее вибрации в зоне действия импульсного тока при наложении на волоку поперечного постоянного магнитного поля напряженностью $\vec{H}_{вн}$.

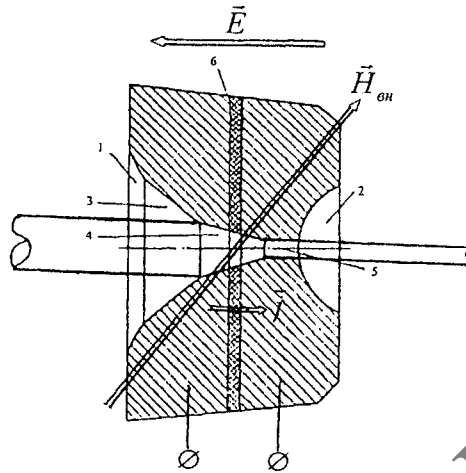


Рис. 3. Разрезная волока с внутренним изоляционным слоем:
 1 – входная распушка; 2 – выходная распушка; 3 – смазочный конус;
 4 – рабочий конус; 5 – калибрующий пояс; 6 – электрический слой.

Таким образом, этот способ интенсификации процесса волочения проволоки принципиально не отличается от способа волочения, схематически приведенного на рисунке 1, но он отличается максимальной локализацией зоны действия тока и вибрацией.

Литература

1. Климов К.М., Новиков И.И. Влияние градиента температуры и электрического тока высокой плотности на пластическую деформацию при растяжении металлических проволок // Изв. АН СССР, Металлы, 1978, № 6. С. 175-178.
2. Клыпін А.А. О пластической деформации металлов при наличии электрического воздействия // Проблемы прочности. 1975. № 7. С. 20-26.
3. Климов К.М., Новиков И.И. Особенности пластической деформации металлов в электромагнитном поле // Доклады АН СССР, 1980. Т. 235, № 3. С. 603-606.
4. Кравченко В.Я. Воздействие направленного потока электронов на движущиеся дислокации // Письма в Журнал экспериментальной теоретической физики, 1966, т. 51, вып. 6 (12), с. 1676-1678.
5. Савенко В.С. Исследование влияния энергетических воздействий на деформационные процессы в технически важных материалах // Веснік Мазырскага педагогічнага інстытута імя Н.К. Крупскай, – Мозырь: 1999, № 1, с. 27-30.
6. Троицкий О.А., Спицын В.И. и др. Рентгеноструктурное исследование меди и стали, подвергнутых электропластическому волочению // Физика металлов и металловедение, 1980, т. 50, № 1, с. 157.
7. T.G. Cowling, Magnetohydrodynamics, Interscience, 1957, N-Y.
8. Ю.В. Баранов, О.А. Троицкий, Ю.С. Авраамов, А.Д. Шляпин. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы. Изд. МГИУ, 2001; М.; с. 843.

Summary

The methods of increase of an electroplasticity of metals are considered at operating a pulse electric current and constant magnetic field with the different schemes of rendering of a current at a metal forming.

Поступила в редакцию 20.03.03.