

К. М. КЛИМОВ, Г. Д. ШНЫРЕВ,  
член-корреспондент АН СССР И. И. НОВИКОВ

### ОБ «ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ» МЕТАЛЛОВ

В последние годы значительно повысился интерес к поведению металлов под воздействием магнитных и электрических полей. Экспериментально показано влияние, например, электрического тока на ползучесть и пластическую деформацию при растяжении и сжатии некоторых металлов и сплавов (<sup>1, 2</sup>).

В настоящей работе описываются и анализируются эксперименты по определению влияния электрического тока высокой плотности на пластичность некоторых тугоплавких металлов и сплавов. В этих опытах обнаружено значительное повышение пластичности при пропускании по металлу электрического тока в условиях, когда температура металла составляла не более 100–200° С.

Использование эффекта электропластичности позволило плющить нагартованную до весьма высокой степени проволоку из вольфрама, молибдена и их сплавов с рением в микроленту с отношением ширины к толщине 20–30 и более; при этом прочностные и упругие свойства исходного прокатываемого металла не только сохранялись, но и улучшались. Такого рода микроленты требуются для различных областей прецизионного приборостроения и электронной техники (<sup>3</sup>).

В опытах был использован малогабаритный прокатный станок с цилиндрическими рабочими валками из твердосплавных материалов. Непосредственно в очаг деформации подавался электрический ток высокой плотности (см. рис. 1). Избыток тепла при этом отводился массивными по сравнению с объемом деформируемого металла вращающимися рабочими валками и специально подаваемой теплоотводящей жидкостью (веретенное масло). Интенсивный теплоотъем не позволял развиваться термическим эффектам в зоне деформации, вследствие этого прокатываемый металл не разупрочнялся.

Проведенные эксперименты показали, что для каждого металла и сплава (с учетом диаметра исходной проволоки и рода материала) необходим вполне определенный режим электропластической прокатки, характеризуемый плотностью тока, скоростью прокатки, степенью обжатия за проход, числом проходов и интенсивностью теплоотвода.

Метод холодной электропластической прокатки позволил впервые вне вакуума и разогрева металла до высоких температур плющить сильно нагартованную проволоку из вольфрама, сплавов вольфрама с рением и др. в микроленту толщиной 20–30 мкм. Металлографические исследования показали заметное измельчение зерна и хорошо выраженную текстуру вдоль направления прокатки и по ширине ленты в торцевом сечении. При этом заметных растрескиваний и надрывов на боковых кромках ленты не было.

Наблюдаемое в экспериментах резкое повышение пластичности вольфрама и других металлов и сплавов при наличии в очаге деформации

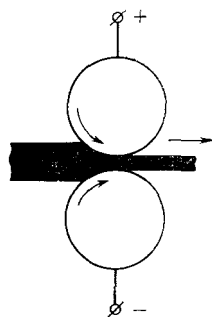


Рис. 1. Схема подачи электрического тока в очаг деформации при электропластической прокатке

электрического тока высокой плотности, возможно, обусловлено увеличением подвижности дислокаций под действием электронов проводимости. Последние образуют электронный «газ», который может характеризоваться определенной величиной вязкости (в дальнейшем она обозначается как «электронная вязкость»), очевидно,

$$\eta \approx 1/3 nm^* \lambda w_{\Phi},$$

где  $n$  — число электронов проводимости в единице объема,  $m^*$  — эффективная масса электрона,  $\lambda$  — длина свободного пробега электрона,  $w_{\Phi} = (2E_{\Phi}/m^*)^{1/2}$  — истинная скорость электронов, определяемая энергией Ферми.

При наличии направленного потока электронов (со скоростью дрейфа электронов  $w_d = j/(ne)$ , где  $j$  — плотность электрического тока), на единичную площадку будет действовать в направлении движения электронов сила

$$F = \eta \partial w_x / \partial z.$$

Учитывая, что обусловленная электрическим током скорость электронов изменяется на расстоянии  $\lambda$  от 0 до  $w_d$ , находим

$$F \approx 1/3 nm^* w_{\Phi} w_d.$$

Смещение дислокации определяется вектором Бюргерса  $b$ , а собственная скорость дислокации равна  $w_0$ ; поэтому сила, действующая на единицу длины дислокации, составит

$$F_{\text{дисл}} \approx 1/3 nm^* w_{\Phi} b (w_d - w_0).$$

Заметим, что и квантовомеханические расчеты (<sup>4</sup>) приводят к такому же выражению для силы  $F_{\text{дисл}}$ .

Величина  $F_{\text{дисл}}$  представляет собой силу электронного увлечения дислокаций. Электрический ток тормозит движение дислокаций при  $w_d - w_0 < 0$  и, наоборот, увлекает дислокации при  $w_d - w_0 > 0$ . Если дислокация неподвижна, то она испытывает силу увлечения, пропорциональную плотности тока  $j$ , которая будет стремиться вызвать перемещение дислокации в направлении, противоположном направлению электрического тока.

Таким образом, ток, текущий через очаг деформации при плющении проволоки вращающимися валками, может усиливать перемещение дислокаций, в частности, приводить в движение закрепленные дислокации. Эта интенсификация движения дислокаций и будет означать увеличение пластичности металла под воздействием электрического тока. Понятно, что приведенное объяснение механизма повышения пластичности металла носит качественный характер, однако оно представляется достаточно правдоподобным, поскольку условия для значительного локального нагрева деформируемого металла были исключены, а акт взаимодействия электрона с дислокацией в той же степени первичен, как и его взаимодействие с атомом.

Институт металлургии им. А. А. Байкова  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
1 VII 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> О. А. Троцкий, А. Г. Розно, ФТТ, т. 12, 4, 203 (1970). <sup>2</sup> С. Т. Кишкин, А. А. Клытин, ДАН, т. 211, 2, 325 (1973). <sup>3</sup> З. А. Тимофеева, Л. Б. Жермунская и др., Сборн. Современные металлы и сплавы в приборостроении, М., 1972, стр. 126. <sup>4</sup> М. И. Каганов, В. Я. Кравченко, В. Д. Нацук, УФН, т. 111, 4 (1973).