

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ НА ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МЕТАЛЛАХ

Троицкий О. А.

*НИИ «Институт ЭПДМ», Москва, Россия,  
[otroitsky@rambler.ru](mailto:otroitsky@rambler.ru)*

Рассмотрено действие «электронного ветра» облучательного происхождения (ускоренными электронами) и «электронного ветра» электронами проводимости токового происхождения под влиянием приложенных электрических напряжений на поведение дислокаций и пластическую деформацию металла с учетом электрических и тепловых свойств дислокаций, включая их электрическое сопротивление. Проведен анализ существующих теорий взаимодействия «электронного ветра» с дислокациями и с источниками дислокаций. Детально рассмотрена роль поверхности Ферми в электропластическом эффекте (ЭПЭ) [1]. Возможность противоположного явления – оттеснения свободных электронов из зоны деформации дислокациями при скоростном деформировании волочением проволоки металла через узкую фильеру, получившего название электронного деформационного эффекта (ЭДЭ), существующего также по причине инерционного отставания электронов от ионного остова решетки при ускоренном движении последнего внутри деформирующей волоки (электронный инерционный эффект Стюарта-Толмэна отрицательного знака). Можно предположить, что ЭДЭ возникает и существует при работе современных скоростных прокатных и волочильных станов, хотя этот вопрос детально еще не исследовался.

Первые проведенный нами совместно с В.Г.Рыжковым исследования показали, что в динамическом режиме при скоростном волочении медной и вольфрамовой микропроволоки возникает «электронная подушка» непосредственно перед входом микропроволоки в волоку, что, возможно, облегчает сверхскоростное деформирование и других металлов, например, суперскоростное волочение стальной кордовой проволоки.

Рассмотрено также электропластическое действие упреждающего электронного впрыска (УЭВ) под влиянием эффекта Стюарта-Толмэна положительного знака при резком торможении металла (пули), летящего со сверхзвуковой скоростью, на сверхскоростное деформирование и пробитие мишени (листа броневой стали). Установлено, что эффект пластифицирующего действия УЭВ усиливается в присутствии сильно поверхностно-активных веществ (ПАВ), в качестве которых могут использоваться легкоплавкие эвтектики из электрондебетных сплавов (ЭДС).

Рассмотрено влияние электрического тока на формирование и трансформацию дислокационных скоплений. Механизм избирательного теплового действия тока на дислокации как на локальные неоднородности структуры присутствует во время электропластической деформации металла (ЭПДМ), но он не является определяющим механизмом ЭПЭ и ЭПДМ, поскольку по расчетам создаваемые импульсами тока локальные тепловыделения и изменения температуры в районе ядра дислокаций незначительны -  $2 \cdot 10^{-20}$  Дж и  $(0,17-0,2)^\circ\text{C}$  соответственно, что недостаточно для стимулирования пластической деформации металла по механизму термофлуктуационного преодоления дислокациями препятствий в своих плоскостях скольжения.

Существующие теории взаимодействия «электронного ветра» с дислокациями В.Я.Кравченко и В.Д.Фикса, частично объясняют ЭПЭ в части его скоростной зависимости. Однако зависимости ЭПЭ от величины длительностей импульсов тока и влияние собственного магнитного поля тока (через механизм пинч-эффекта) не получают объяснения в рамках этих теорий. Теория ЭПЭ А.М. Рошупкина и Л.Н. Батаронова о действии «электронного ветра» на временно заторможенные скопления дислокаций в этом смысле более плодотворна. В рамках этой теории, в частности, может быть объяснено

сильное влияние на величину ЭПЭ парамагнитных примесей через механизм спинового разупрочнения металлов.

Что касается влияния на величину ЭПЭ поверхности Ферми, то важным являются следующие обстоятельства и особенности строения электронного энергетического спектра металлов:

а) большинство металлов имеют сложный характер проводимости, имея электронную и «дырочную» изоэнергетические поверхности, которые, смещаясь в разные стороны под влиянием электрического поля, передают дислокациям импульсы силы и энергии в противоположных направлениях;

б) в процессе электропроводности, сопровождающую ЭПЭ, происходит смещение фермиевских электронов по нормали к поверхности Ферми, причем доля таких электронов, передающих импульсы силы и энергии на дислокации, возрастает с увеличением площади Ферми, а также с увеличением степени ее закрытости; в этом смысле металлы 1-й группы Cu, Ag и Au, имеющие систему сфер («пузо»), соединенных между собой узкими перемычками («шейками») закрытости; являются прекрасными объектами для исследования ЭПЭ;

в) ЭПЭ подобно электронной теплоемкости пропорционален  $\int dS_f/V$ , где  $dS_f$  – элемент площади поверхности Ферми и  $V$  – объем, охватываемый поверхностью Ферми; наличие у поверхности Ферми многочисленных замкнутых фрагментов в виде «раковин», «линз», «игл», «сигар», а также «вмятин», гофров и перемычек типа «шеек», ориентированных малыми осями по полю  $E$ , усиливает ЭПЭ, примером чего является цинк и, в меньшей степени, кадмий;

г) удельная поверхность Ферми  $\int dS_f/V$  играет важную роль в величине ЭПЭ; фермиевские электроны и «дырки», как известно, фактически не покидают верхний уровень поверхности Ферми, мигрируя по ее поверхности, поэтому, чем больше поверхность Ферми металла  $S_f$  и ее удельный вес  $\int dS_f/V$  по отношению к объему, охватываемому изоэнергетическим объемом, тем больше должен быть ЭПЭ, поскольку возрастает суммарный импульс силы и энергии, передаваемый от «электронного ветра» на дислокации. В указанном выше ряду металлов 1-й группы ЭПЭ должен возрастать с переходом от меди к золоту.

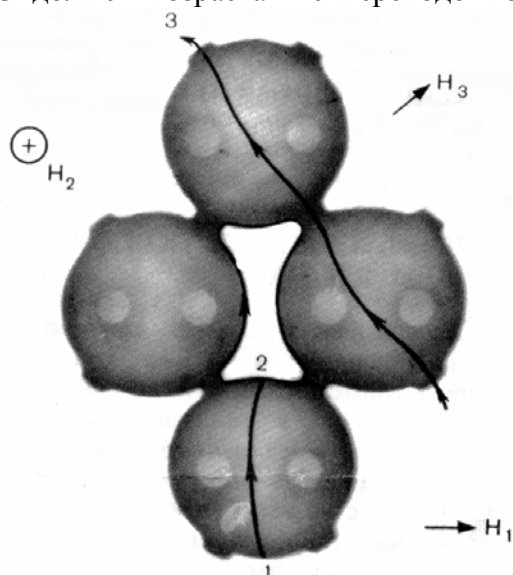


Рис. 1. Поверхность Ферми меди, серебра и золота

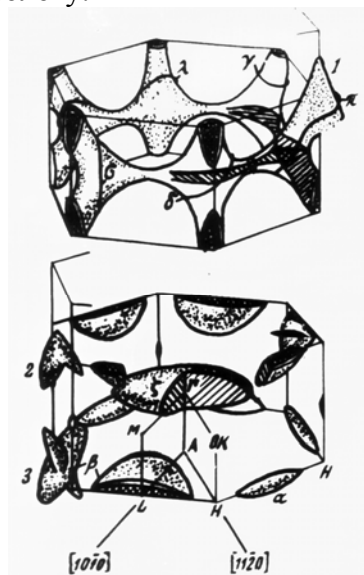


Рис. 2. Поверхность Ферми цинка:  
а) открытая «дырочная» (2-я зона)  
б) замкнутая электронная

1. О.А. Троицкий, Электромеханический эффект в металлах, Письма в ЖЭТФ, 10, 18-22(1969).