

УДК 537.533.2:669.017.3

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Р. И. МИНЦ, В. П. МЕЛЕХИН, М. Б. ПАРТЕНСКИЙ, И. Ю. ИЕВЛЕВ

ЭКЗОЭМИССИЯ В УСЛОВИЯХ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 27 IV 1972)

В исследованиях экзоэлектронной эмиссии, наблюдающейся в процессе пластической деформации металлов, вопрос о физических причинах, обуславливающих эмиссию, остается дискуссионным. В ряде работ высказывается предположение, что в этом случае работа выхода электрона уменьшается вблизи точек выхода дислокаций на поверхность кристалла (^{1,2}). Вместе с тем в опытах с одновременной регистрацией работы выхода и эмиссии установлено, что наиболее интенсивное нарастание эмиссионного тока происходит на той стадии деформации, на которой упрочнение минимально, а изменение работы выхода незначительно (^{4,5}). В связи с этим представляет интерес исследование эмиссии в процессе деформации металлов с низкой температурой рекристаллизации.

В качестве модели для исследования был выбран свинец, температура рекристаллизации которого близка к комнатной. В отличие от хорошо известных кривых термостимулированной эмиссии для предварительно деформированных металлов с относительно высокой температурой рекристаллизации, эмиссия с поверхности деформированного свинца наблюдается в очень узком интервале температур (рис. 1) вблизи точки плавления. Это, по-видимому, определяется низким значением для свинца запасенной энергии деформации (⁶).

Исследование экзоэмиссии с одновременной регистрацией напряжения и работы выхода электрона было проведено на образцах, предварительно отожженных при 373° К в течение 2 час.; образцы растягивались со скоростью 0,36 мм/мин.

Измерения проводились в вакууме $5 \cdot 10^{-6}$ тор. Для детектирования электронов использовался вторично-электронный умножитель. Изменение работы выхода электрона регистрировалось по изменению контактной разности потенциалов между исследуемым образцом и золотым эталоном. Методика эксперимента и установка подробно описаны в работах (^{7,8}).

На рис. 2 приведены результаты измерений. Начальная стадия деформации (от 0 до 5%) характеризуется интенсивным упрочнением (кривая $\sigma(\epsilon)$); на этой стадии тепловые эффекты проявляются слабо и почти вся энергия деформации трансформируется в потенциальную энергию упругих искажений решетки (⁹). Сопоставляя кривые $\sigma(\epsilon)$ и $\phi(\epsilon)$, нетрудно заметить, что участку интенсивного упрочнения соответствует резкое снижение работы выхода электрона.

Интервал деформаций от 10 до 25% характеризуется динамическим равновесием между количеством образующихся и исчезающих дефектов. Происходит интенсивное выделение тепла, связанное с протеканием процессов рекристаллизации. В соответствии с этим практически отсутствует прирост упрочнения ($\sigma \approx \text{const}$). Падение напряжения при $\epsilon = 25\%$ обусловлено локализацией деформации (образованием шейки на образце). В области деформаций, где $\sigma \approx \text{const}$, работа выхода электрона практически не меняется ($\phi \approx \text{const}$). Обращает на себя внимание тот факт, что при неизменяющейся работе выхода деформация сопровождается значитель-

ным ростом эмиссионного тока. Момент разрушения сопровождается пиком эмиссии.

Полученные экспериментальные данные позволяют высказать некоторые соображения относительно влияния температуры на интенсивность эмиссии в интервале деформаций, соответствующих неизменяемости величин σ и φ .

Благодаря неоднородному распределению напряжений в образце, подвергающемся пластической деформации, следует ожидать, что выделение тепла происходит неравномерно и существуют области, локальная температура которых может сильно колебаться относительно среднего значения. Известно ⁽¹⁰⁾, что электрон-фононное взаимодействие (э.ф.в.) может су-

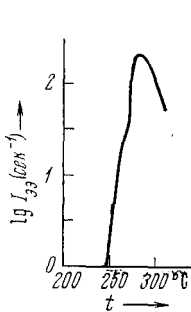


Рис. 1. Экзоэлектронная эмиссия при отжиге свинца, деформированного сжатием на 20%

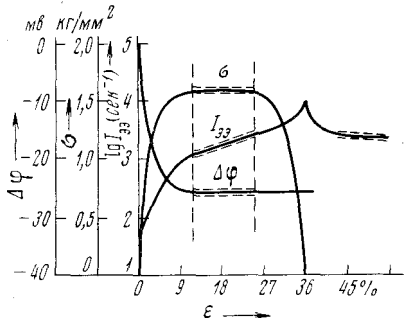


Рис. 2. Изменение напряжения σ , работы выхода электрона $\Delta\varphi$ и интенсивности экзоэмиссии I_{33} в процессе пластической деформации ϵ

щественно изменять температурную зависимость плотности состояний электронов проводимости и связанных с нею физических величин при температурах $T > T_D$ (T_D — температура Дебая).

Аналогично ⁽¹⁰⁾, где вычислялась парамагнитная восприимчивость, для изменения энергии Ферми $\delta\mu$ за счет э.ф.в. при $T \gg T_D$ можно получить

$$\delta\mu \simeq \frac{T}{T_F} \left(8\xi \frac{q_D}{k_F} + [(2k_F)^2 - q_D^2] \ln \left| \frac{q_D - 2k_F}{q_D + 2k_F} \right| \right) \mathcal{E}_F^{(0)}; \tag{1}$$

q_D и k_F — волновые векторы Дебая и Ферми, T_F — температура Ферми, $\mathcal{E}_F^{(0)}$ — энергия Ферми при $T = 0$, ξ — коэффициент порядка единицы.

При $T < T_D$ вкладом э.ф.в. можно пренебречь.

Таким образом, при $T > T_D$ э.ф.в. приводит к линейной зависимости энергии Ферми от отношения T/T_F , в отличие от квадратичной, которая следует из температурной зависимости функции Ферми.

Условию $T > T_D$ в области температур 100–500° К из всех твердых металлов хорошо удовлетворяет только свинец, температуры Дебая и плавления которого составляют 95 и 600° К соответственно. Из формулы (1) получаем, что в этой области температуры относительный сдвиг уровня Ферми может изменяться в пределах 1–5%, т. е. весьма существенно. Однако, применяя полученные результаты к рассматриваемому случаю неоднородного выделения тепла, следует иметь в виду, что флуктуации энергии Ферми быстро сглаживаются вследствие перераспределения электронов. Кроме того, разогретый участок быстро переходит в тепловое равновесие с окружающим кристаллом за счет теплопроводности. Поэтому нарастание эмиссионного тока, вероятно, обусловлено в основном увеличением суммарной площади разогретых участков, а не возрастанием их температуры.

Таким образом, можно полагать, что в идентичных условиях нагружения влияние экзотермических эффектов, обусловленных рекристаллизацией в процессе пластической деформации, наиболее существенно проявляется для металлов с низким значением температур рекристаллизации и Дебая. Флуктуации локальной температуры в этих случаях могут стимулировать эмиссию как непосредственно, так и существенно меняя энергию Ферми вследствие электрон-фононного взаимодействия.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило
21 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. R. Brotzen, Phys. Stat. Sol., 22, 9 (1967). ² C. C. Veerman, De afbeelding van plastisch vervormde metaloppervlakken door middel van fotoelektronen, 1963.
³ Н. Кабрера, Сборн. Элементарные процессы роста кристаллов, ИЛ, 1959.
⁴ Р. И. Минц, В. С. Кортюв, Изв. высш. учебн. завед., Физика, № 3, 44 (1968).
⁵ Р. И. Минц, В. С. Кортюв и др., там же, № 7, 37 (1970). ⁶ М. Б. Бивер, Сборн. Ползучесть и возврат, М., 1961. ⁷ В. П. Мелехин, В. С. Кортюв, Р. И. Минц, Зав. лаб., 35, 8, 996 (1969). ⁸ Р. И. Минц, В. П. Мелехин и др., Изв. высш. учебн. завед., Цветная металлургия, 2, 113 (1969). ⁹ В. А. Павлов, Физические основы пластической деформации, Изд. АН СССР, 1962. ¹⁰ А. И. Мицек, А. Я. Фишман, Физ. мет. и металловед., 31, 894 (1971).