

УДК 539.8

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА КЕЛЬВИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

Шипица Н. А., Жарин А. Л., Сарока Д. И., Дмитровиц А. А.

Научно - Исследовательский Институт Порошковой Металлургии, Минск, Беларусь
shipitsa_nik@mail.ru

Метод Кельвина заключается в измерении контактной разности потенциалов, возникающей между измеряемой поверхностью и поверхностью эталонного образца. При этом измеряемый и эталонный образец образуют плоский конденсатор и не контактируют между собой. Величина контактной разности потенциалов будет определяться разностью работ выхода электрона эталонного образца и исследуемого.

$$U = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{e} \quad (1)$$

Вследствие высокой чувствительности метод используют в физико-химических исследованиях [1], при исследовании процессов трения [2], а также при изучении деформации и разрушении металлических твердых тел.

Работа выхода электрона Φ – это энергия, которую необходимо затратить для удаления электрона из твердого или жидкого вещества в вакуум. Если электростатический потенциал в вакууме ϕ_0 , в веществе ϕ_1 , а E_F – энергия Ферми, то работа выхода электрона определяется уравнением [2]:

$$\Phi = (\phi_1 - \phi_0) - E_F = \Delta\phi - E_F = 4\pi P_s - E_F \quad (2)$$

Величина $\Delta\phi$ представляет собой разность между электростатическим потенциалом электрона внутри металла и электростатическим потенциалом электрона вне металла в определенной точке; $\Delta\phi$ зависит от состояния поверхности металла и, следовательно, от ее структуры. При этом $\Delta\phi = 4\pi P_s$, где P_s – дипольный момент двойного слоя, приходящийся на единицу площади поверхности. Отсюда следует, что работа выхода зависит как от состояния объема металла E_F , так и от состояния его поверхности P_s . Эта вторая компонента зависит от кристаллографической ориентации поверхности, адсорбированных атомов, наличия на поверхности дефектов, микрошероховатости поверхности и т.д.

В данной работе представлены экспериментальные исследования влияния деформации на изменение работы выхода электрона.

Методика исследований

Исследования проводились при трех схемах нагружения:

а) **при одноосном растяжении.** Исследование деформации проводилось на испытательной машине типа "Instron". Образец соответствующей формы и размеров устанавливался в испытательную машину. Одна из сторон образца шлифовалась, затем полировалась. У подготовленной поверхности образца устанавливался датчик Кельвина. В процессе рабочего цикла испытательной машины одновременно записывались удлинение образца и работа выхода электрона в зависимости от приложенной нагрузки. Кроме того, после достижения заданной деформации испытания прекращались, образец

снимали с машины и проводили регистрацию распределения работы выхода электрона по поверхности образца.

б) **при сжатии.** Образцы кубической формы устанавливались в испытательную машину и подвергались сжатию через стеклянную пластинку в течение 30 с. Затем образцы снимались с испытательной машины для регистрации распределения работы выхода электрона по контактирующей поверхности. Определялся также параметр шероховатости контактной поверхности R_a . Описанные выше манипуляции повторялись с постоянно увеличивающейся удельной нагрузкой, что позволяло получить зависимости работы выхода электрона контактных поверхностей, а также R_a контактной поверхности от приложенной удельной нагрузки.

в) **при точечном нагружении.** Образцы устанавливались на столик твердомера Бринелль ТШ -2м, в испытуемый образец вдавливали шарик диаметром 5 мм с нагрузкой 7357Н ($K=30$). После нагружения образцы снимались со столика, и проводилось сканирование исследуемой поверхности и регистрация изменения работы выхода электрона по поверхности.

Все исследования топологии работы выхода электрона при деформации проводились на установке для оценки гомогенности прецизионных поверхностей [4]

Экспериментальные исследования

Типичные результаты по изменению работы выхода электрона при простом одноосном растяжении для некоторых материалов представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что до предела пропорциональности, т.е. в области упругих деформаций, работа выхода электрона изменяется незначительно. Наблюдается лишь некоторое увеличение работы выхода электрона с увеличением нагрузки (1 - 1,5 мэВ). Дальнейшая деформация, выше предела пропорциональности, приводит к резкому понижению работы выхода электрона с последующей тенденцией к насыщению (рис. 1).

Следует отметить, что уменьшение работы выхода электрона поверхности при переходе от упругой деформации к пластической наблюдается для всех исследуемых материалов.

Известно, что в области упругих деформаций происходит сдвиг положения уровня Ферми металла за счет дилатации кристаллической решетки, что, в свою очередь, вызывает повышение работы выхода электрона [5,6]. При упругом сжатии или растяжении происходит изменение компактности решетки металла, т.е. изменяется объем кристаллической решетки, а, следовательно, и объем, занимаемый свободными электронами. Это вызывает изменение положения уровня Ферми и, тем самым, вызывает изменение работы выхода электрона [6,7].

Более существенное влияние на работу выхода электрона оказывают дефекты кристаллической решетки металла. Особенно большое влияние на работу выхода электрона оказывают линейные дефекты (краевые и винтовые дислокации). Атомы в окрестностях дислокаций испытывают значительное гидростатическое давление, создаваемое ее полем напряжений. Авторами работы [8] теоретически оценено локальное изменение работы выхода электрона в месте выхода дислокаций на поверхность. Получено, что у ядра дислокаций работа выхода электрона понижена приблизительно на 0,3 эВ. Поэтому интегральное значение работы выхода электрона поверхности может значительно изменяться с изменениями плотности дефектов. При этом задача ее определения сводится к задаче о пятнистом катоде. Такое рассмотрение, проведенное Минцем и Партенским [9], показало, что дислокации могут приводить к уменьшению работы выхода электрона поверхности на 10^{-2} - 10^{-1} эВ.

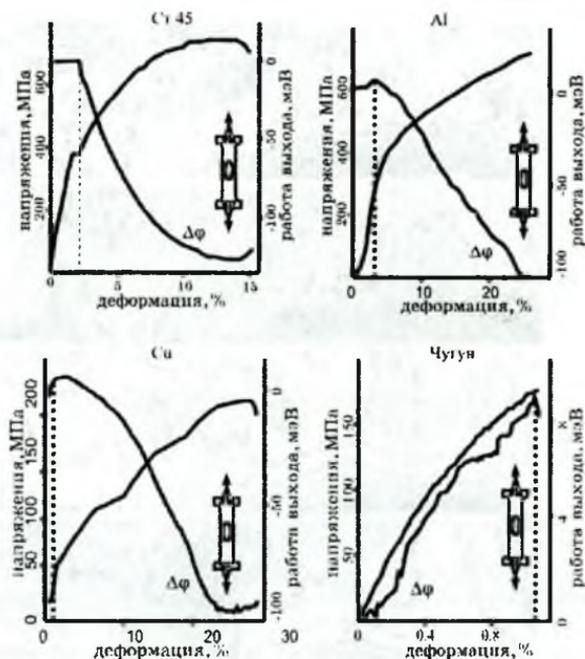


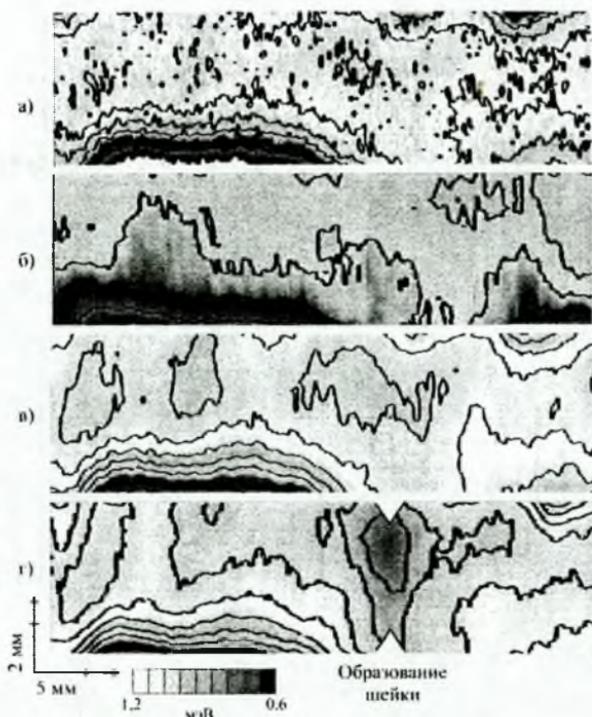
Рис. 1. Изменение работы выхода электрона при одноосном растяжении

Распределение работы выхода электрона по поверхности образцов при различной степени деформации представлены на рис. 2, 3.

При напряжениях, меньших предела текучести, на всех образцах наблюдается незначительное изменение работы выхода электрона по поверхности (рис. 2, а). С увеличением степени деформации на алюминиевых образцах последовательно наблюдалось: формирование обширной области с пониженной работой выхода электрона (рис. 2, б); ее деление на нескольких областей (рис. 2, в); затем формирование узкой области с пониженной работой выхода электрона в зоне образования шейки (рис. 2, г). На образцах из стали и бронзы изменения топологии работы выхода электрона, в основном, идентичны наблюдаемым на алюминиевых образцах.

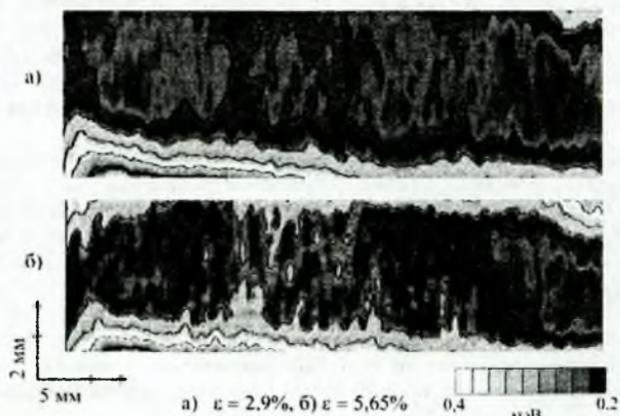
Следует подчеркнуть, что и на хрупких материалах также наблюдается изменения топологии работы выхода электрона при одноосном растяжении (рис. 3).

В условиях контактной деформации изменение работы выхода электрона аналогично полученному при растяжении (рис. 4). В области упругих деформаций среднее значение работы выхода электрона изменяется незначительно. Увеличением нагрузки выше некоторого предела приводит к резкому понижению работы выхода электрона с последующей тенденцией к насыщению (рис. 4). Уменьшение работы выхода электрона наступает практически одновременно с уменьшением параметра шероховатости R_a . Корреляция изменения шероховатости и усредненной работы выхода электрона показывает, что изменение работы выхода электрона связано с пластической деформацией на контакте.



а) $\epsilon = 0,92\%$, б) $\epsilon = 4,52\%$, в) $\epsilon = 8,56\%$, г) $\epsilon = 24,56\%$

Рис. 2. Топология работы выхода электрона боковой поверхности образцов (AI) в характерных точках по диаграмме напряжения деформация.



а) $\epsilon = 2,9\%$, б) $\epsilon = 5,65\%$

Рис. 3. Топология работы выхода электрона боковой поверхности образцов (С4) в характерных точках по диаграмме напряжения деформация.

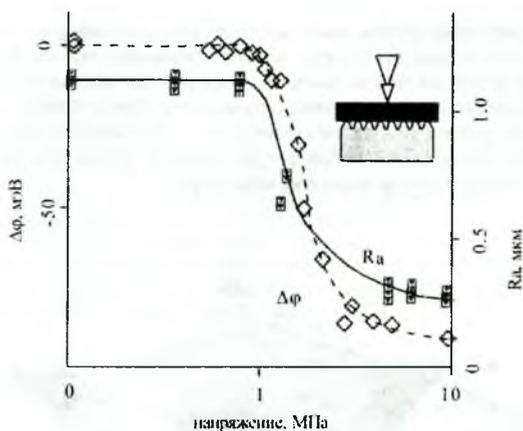
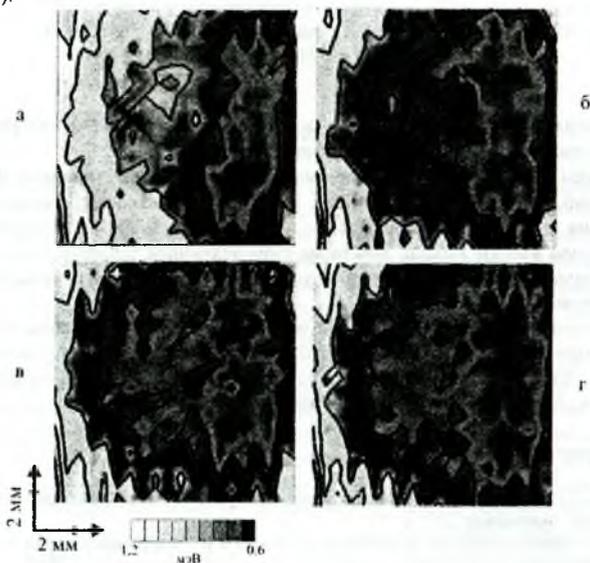


Рис. 4. Результаты экспериментов по нагружению шероховатой поверхности гладкой поверхностью контртела

На рис. 5 представлена топология работы выхода электрона контактной поверхности образцов из стали. При небольших нагрузках, до 1 МПа, на поверхности наблюдаются отдельные области с некоторым понижением работы выхода электрона (рис. 5, б, в). С повышением нагрузки наблюдается увеличение работы выхода электрона, и при давлении 8 МПа – уменьшение ее практически на всей площади контактной поверхности (рис. 5, г).



а - 0.4 МПа; б - 0.8 МПа; в - 1.4 МПа; г - 6 МПа

Рис. 5. Топология работы выхода электрона контактной поверхности

Изменение топологии работы выхода электрона после точечного нагружения поверхности приведено на (рис.6). Следует обратить внимание, что на топологии достаточно хорошо наблюдаются эпюры распределения работы выхода электрона, которые вызваны неоднородностью пластической деформации вблизи точечного нагружения. Область изменения работы выхода электрона вблизи отпечатка больше, чем реальный размер отпечатка и представляет собой сложную фигуру. На рис. 6 сплошным кругом показан реальный размер отпечатка индентора.

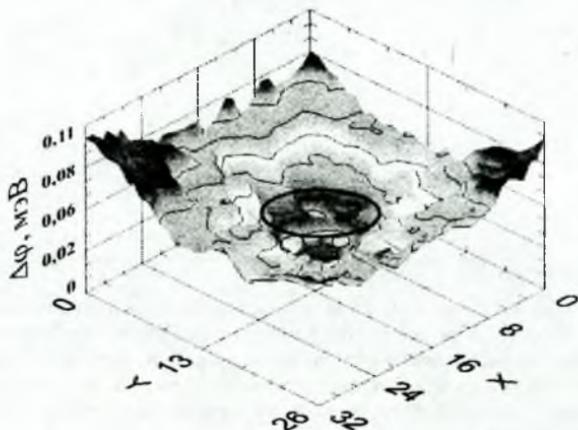


Рис.6. Изменение топологии работы выхода электрона поверхности Ст 45 после точечного нагружения

Таким образом, экспериментальные исследования деформации материалов по изменению работы выхода электрона поверхности показали:

- процессы деформации материалов могут быть проконтролированы по регистрации изменений работы выхода электрона. В области упругих деформаций работа выхода электрона изменяется незначительно; пластическая деформация приводит к резкому понижению работы выхода электрона с последующей тенденцией к насыщению. Большой степени деформации соответствует более значительное уменьшение работа выхода электрона;

- топология (распределение) работы выхода электрона по поверхности образцов при деформации имеет сложную зависимость и определяется распределением плотности дефектов. В областях с повышенной плотностью дефектов работа выхода электрона меньше, чем в среднем по поверхности, и наоборот.

Список литературы

1. Ибрагимов Х.И., Корольков В.А. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях. М. Ингермет Инжиниринг, 2002 с.526
2. Жарин А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. Мн. Бестпринт, 1996 с. 240.
3. Вудраф Д., Деллар Т. Современные методы исследования поверхности: М. Мир 1989. с. 564.

4. Жарин А.Л., Шипица Н.А., Сарока Д.И. Метод исследования поверхности металлов методом Кельвина // 4-й Белорусский семинар по сканирующей зондовой микроскопии: Сборник докладов. Гомель. 24-25 октября 2000г С. 22-26.
5. Генкин В.А., Жарин А.Л., Шипица Н.А., Дмитриевич А.Л., Фишбейн Е.И. Экспериментальное определение деформации материалов // В кн.: Механика и физика разрушения хрупких материалов. Киев. 1990 г. с.148-153.
6. Минц Р.И., Мелехин В.П., Партенский М.Б. Деформационное изменение работы выхода электрона. //ФТТ. 1974. Т. 16. № 12. С. 3584-3586.
7. Андреев А.А., Галаев А.А. Исследование поверхности деформированного молибдена методом измерения работы выхода электрона. //ФХММ. 1970. Т. 6. № 6. С. 19 - 24.
8. Крейг, Радека. Исследование зависимости КРП металлов от механического напряжения методом Кельвина. //Приборы для научных исследований. 1970. № 2. С. 99 - 105.
9. Партенский М.Б. Изменение энергии Ферми металлических кристаллов обусловленная дислокациями. // Физика металлов и металловедение, 1971, т.32, № 3, с.510-514.

УДК 539.8

К ВОПРОСУ ДИНАМИЧЕСКОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Андрушевич А. А.¹⁾, Ушеренко С. М.²⁾, Шипица Н. А.³⁾

¹⁾ *Институт импульсных процессов НАНБ,*

²⁾ *Институт повышения квалификации и переподготовки кадров,*

³⁾ *Институт порошковой металлургии НАНБ, Минск, Беларусь*
shipitsa_nik@mail.ru

Введение

Процессы импульсного нагружения различных материалов исследовались в течение многих сотен лет. Это было связано, в основном, с использованием этих результатов для военного применения. С 19-го века интенсивно стали развиваться промышленные технологии, обеспечивающие объемное деформирование заготовок различных материалов. В числе прочих изучались процессы объемного деформирования и перестройки структуры за счет энергии различных взрывчатых веществ. Были проведены экспериментальные и теоретические исследования и получены основополагающие зависимости. Однако появление ряда необычных научных результатов в этой области, таких, например, как динамический массоперенос и сверхглубокое проникновение, показало, что с изменением механизмов массопереноса эти зависимости не могут претендовать на всеобщность. Процесс сверхглубокого проникания (СГП) реализуется в условиях коллективного воздействия потока микроударников на преграды и приводит к разрушению известного барьерного ограничения [1]. Так как этот процесс относится к ударным, то в качестве критерия его оценки используется относительная глубина кратерообразования. Известно барьерное ограничение кратерообразования при ударе составляет величину 10 –12 определяющих размеров ударника (калибров). В условиях СГП стабильно регистрируются относительные глубины 10^2 - 10^4 . Такой результат может быть получен при качественном изменении механизма массопереноса. Соответст-