

РОЛЬ ЗАЛЕЧИВАНИЯ В ЦИКЛИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ LiF С ТРЕЩИНОЙ

М.А.Рувинский, О.Г.Сергеева, И.М.Фомин

Ростовский-на-Дону институт автоматизации и технологии машиностроения
Поступило в Редакцию 13 июля 1994 г.

Известно, что несплошности — трещины, поры в ионных кристаллах, металлах, полупроводниках — способны залечиваться [1–3]. Закрывание трещины происходит и при циклическом нагружении — в фазе сжатия или при уменьшении растягивающих усилий. При этом смыкание берегов раскола до механического контакта и сжимающие нагрузки создают условия, способствующие возможному частичному залечиванию трещины [4].

Целью настоящей работы являлось изучение возможности восстановления сплошности при циклическом нагружении, а также исследование влияния этого процесса на усталостную прочность на примере LiF — модельного материала для исследования процессов разрушения, пластической деформации, залечивания трещин. Имеются работы, описывающие пластическую деформацию и разрушение LiF при циклических нагрузках [5,6]. Однако в этих экспериментах образцы LiF не имели макротрещин. В данной статье излагаются результаты работы с монокристаллами фтористого лития, имеющими макроскопические трещины спайности.

Монокристаллические образцы LiF размером $50 \times 15 \times 3$ мм с трещиной длиной 20–25 мм клеивались в захваты установки, включающей механическое устройство для нагружения, тензостанцию ТА-5 с датчиками сопротивления и управляющую микроЭВМ «Искра-1256». Нагружение образца производилось перпендикулярно плоскости трещины, в ходе испытаний фиксировались величина и знак текущей нагрузки, количество циклов нагружения и наибольшие уровни нагрузок растяжения и сжатия. Для исследования испытанных образцов использовалась оптическая микроскопия, дислокационная структура выявлялась методом избирательного травления (травитель — водный раствор FeCl_3).

Количество циклов нагрузки до разрушения образца варьировалось от 2 до 10^4 . Максимальный уровень сжимающих напряжений достигал 5.37 МПа, растягивающих — 1.8 МПа. Коэффициент асимметрии цикла $R = P_{\min}/P_{\max}$ (где P_{\min} и P_{\max} — минимальная и максимальная нагрузка в цикле) варьировался от -4.8 до 0.7 для различных образцов. В ходе испытаний практически не наблюдалось подрастание исходной трещины. Как показали микроскопические исследования, рост трещины не превышал нескольких сот микрон и был связан с изменением формы фронта исходной трещины. Разрушение образца происходило в фазе растяжения при скачкообразном росте исходной трещины. Такой характер разрушения объясняется относительно низкой пластичностью используемого материала.

Результаты испытаний серии образцов можно обобщить следующим образом. При пульсирующем растяжении, а также при знакопеременном нагружении с преобладанием растягивающих нагрузок число циклов до разрушения образца определяется приложенными нагрузками и при растягивающих напряжениях $\lesssim 0.5$ МПа составляет более 10^4 . В случае превалирования усилий сжатия выносливость весьма мала (≤ 50 циклов) и с ростом сжимающих напряжений уменьшается. Таким образом, число циклов нагружения до разрушения образца определяется коэффициентом асимметрии цикла R (рис. 1). При близких уровнях растягивающих напряжений образцы, испытанные при $R \geq -1$, выдерживали в десятки и сотни раз большее количество циклов, чем в случае преобладаний усилий сжатия ($R < -1$).

Микроскопическое исследование фрактографической поверхности разрушения показало, что для образцов с $R < -1$ были характерны закрытие и частичное (островковое) залечивание трещины (рис. 2). Области закрытия выделяются после избирательного травления фрактографической поверхности цепочками выходов дислокаций, повторяющими контуры ступеней скола. Размеры областей закрытия трещины зависели от напряжений сжатия и рельефа фрактографии и составляли от 5–10 μm до 3–5 mm . Со стороны устья трещины область закрытия часто окаймлялась несколькими дугообразными границами отступающей трещины, различными по размерам и форме. Дислокационная структура этих границ аналогична пластической зоне в вершине стоящей трещины. Единая, распространяющаяся на всю ширину образца, граница закрытия практически никогда не формировалась. Обычно область локализации дуг, выпуклостью обращенных в сторону устья трещины, располагается между ступенями скола фрактографии в районах восстановления контакта берегов.

Участки, на которых в фазе сжатия (при давлениях 2–5 МПа) происходило восстановление связей между берегами трещины, выделяются на фрактографии особым рельефом. Рисунок первоначальных ступеней скола здесь прерывается из-за того, что поверхность вторичного разрыва не совпадает с прежней плоскостью трещины. Островки залечивания имеют весьма разнообразные формы и размеры (от 1–2 до 100 μm) и составляют 5–60 % площади области смыкания.

Отрицательное влияние процесса залечивания на выносливость образцов с трещиной, возможно, объясняется тем, что залеченные участки трещины разрушаются после относительно небольшого количества циклов нагружения. Формирующаяся на границе закрытия и залечивания пластическая зона в силу своей прерывистости, неоднородности по ширине образца не может служить эффективным тормозом распространения разрушения, таким как пластическая зона в вершине трещины. Разрыв залеченных участков приводит к скачкообразному росту напряжений в области вершины трещины. Поскольку на предшествующих этапах нагружения пластическая зона здесь не развивалась (об этом свидетельствует уменьшение плотности дислокаций в вершине выключенного из процесса нагружения участка трещины), происходит прорыв трещины и полное разрушение образца.

- [1] Шаскольская М.П., Ван Янь-Вэнь, Гу Шу-Чжао // Кристаллография. 1961. Т. 6. № 4. С. 604-613.
- [2] Гегузин Я.Е. Физика спекания. 2-изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1984. 312 с.
- [3] Лариков Л.Н. Залечивание дефектов в металлах. Киев: Наук. думка, 1980. 219 с.
- [4] Schijve J. // Eng. fracture. Mech. 1979. V. 11. P. 167-221.
- [5] Majumdar B.S., Burns S.J. // Acta Met. 1981. V. 29. P. 425-436.
- [6] Majumdar B.S., Burns S.J. // Acta Met. 1982. V. 30. P. 1743-1760.

УДК 537. 634.9

© Физика твердого тела, том 37, № 2, 1995
Solid State Physics, vol. 37, N 2, 1995

СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СОЕДИНЕНИИ $TbFe_{11}Ti$

*С.А.Никитин, Т.И.Иванова, В.В.Зубенко,
И.В.Телегина, И.С.Терешина*

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
Поступило в Редакцию 13 июля 1994 г.

В настоящей работе изучено явление спиновой переориентации в соединении $TbFe_{11}Ti$. Хотя целый ряд как экспериментальных, так и теоретических работ [1-7] посвящен изучению этого явления в $TbFe_{11}Ti$, данные о температуре спин-переориентационного перехода T_{SR} и характере спиновой переориентации крайне противоречивы.

Расхождение экспериментальных данных по величине T_{SR} возможно связано с тем, что T_{SR} в большей части работ [1-6] определялась по аномалии температурной зависимости магнитной восприимчивости для ориентированных порошковых образцов, в которых наблюдался большой и плохо контролируемый разброс осей легкого намагничивания (ОЛН) отдельных частиц порошка. Анализ литературных данных показывает, что более надежные данные о характере спин-переориентационного перехода могут быть получены из измерений температурной зависимости констант магнитной анизотропии монокристаллических образцов.

Целью настоящей работы явилось изучение спин-переориентационного перехода в монокристалле $TbFe_{11}Ti$ с помощью измерения и последующего анализа экспериментальных кривых вращающего механического момента, действующего на монокристалл соединения $TbFe_{11}Ti$ в магнитном поле.

Технология получения монокристаллов и методика измерений описаны ранее [8]. Для магнитных измерений были взяты образцы, имеющие разориентировку монокристаллических блоков в пределах одного градуса. Наиболее крупный образец имел форму, близкую к диску диаметром около 2 мм и толщиной в среднем 0.4 мм. Кристаллографическая ориентировка образца выявила расположение в плоскости диска направлений [001] и [110].

Кривые механических вращающих моментов для монокристалла $TbFe_{11}Ti$ $L(\varphi)$, где φ — угол между осью [001] и полем H , снимались на магнитном анизометре в интервале температур 78-600 К в магнитных