

## СКЛОННОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА К ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СФОКУСИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© В.А. Федоров, И.В. Ушаков, И.Е. Пермякова

Важными обстоятельствами, осложняющими практическое применение металлических стекол (МС), является их низкая термическая стабильность, возникновение неоднородностей структуры, механических напряжений, например, вследствие локального нагрева. Предложенный метод оценки вероятности образования трещин в зависимости от прикладываемой нагрузки [1] позволяет оценивать температуру нагрева в локальных областях материала, в частности, при воздействии лазерного излучения.

Лазерную обработку поверхности МС осуществляли с помощью оптического квантового генератора «КВАНТ-15» с длиной волны излучения  $\lambda = 1064$  нм. Плотность энергии импульса варьировали в пределах 4–6 Дж/см<sup>2</sup>.

Установлено, что в результате воздействия импульсного лазерного излучения на области МС диаметром  $d = 300$  мкм – 2 мм формируются локальные зоны отожженного материала.

Для граничных участков термического воздействия лазера определена зависимость вероятности образования трещин  $W$  от нагрузки на индентор  $P$  при микроиндентировании на подложке. Экспериментальные результаты представлены линейной зависимостью с

коэффициентом корреляции  $R = 0,92$ . Данная зависимость была сопоставлена с зависимостями  $W(P)$  при печном отжиге для разных температур, полученных индентированием на идентичной подложке. Установлено, что нагрев граничной области зоны облучения эквивалентен отжигу в печи при  $T_{отж} = 658$  К в течение  $t = 10$  мин. Прямая  $W(P)$  для этой температуры термообработки наиболее хорошо согласуется с аналогичной линейной зависимостью при лазерном облучении.

Ограничением в применении метода является температура начала процесса кристаллизации МС. В нашем случае, экзотермический пик кристаллизации, установленный методом ДСК, для исследуемых МС соответствует  $T_{криз} = 829$  К. В области этой температуры и при ее превышении зависимости  $W(P)$  совпадают друг с другом или пересекаются, что лишает возможности практического использования предложенного метода для определения температуры нагрева МС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров В.А., Ушаков И.В. Влияние отжига на изменение характера деформирования и разрушения металлического стекла при локальном нагружении // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 6. С. 28-31.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЛОШНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА

© А.А. Стерелюхин, Р.А. Кириллов, Т.Н. Плужникова, В.А. Федоров

Работа посвящена исследованию качества срачивания поверхностей металлических образцов при одноосном сжатии, одновременном повороте поверхностей относительно друг друга, при воздействии электрического тока и нагрева.

В экспериментах использовали поликристаллы электротехнического алюминия Al, меди Cu (технически чистой), свинца Pb. Концентрация примесей в образцах не превышала 0,5 % для Al и 0,1 % для Cu.

В первой серии опытов образцы соединялись полированными поверхностями и подвергались воздействию одноосного сжатия на твердомере ТШ-2М.

Во второй серии экспериментов образцы подвергались воздействию одноосного сжатия и переменного электрического тока. Величина тока и напряжения со-

ставляла 5 А и 20 В для Al, 8 А и 22 В для Cu и Pb, соответственно.

В третьей серии опытов образцы подвергались воздействию механической деформации и нагрева. Температура образцов достигала 100 °С. Нагрузка варьировалась в пределах от 250 кгс ( $1,63 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) до 1500 кгс ( $9,8 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) для Al, от 250 кгс ( $1,71 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) до 3000 кгс ( $19,6 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) для Cu и от 17 кгс ( $0,16 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) до 210 кгс ( $1,96 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>) для Pb. Время воздействия составляло ~30 секунд. Для удаления поверхностной пленки проворачивали образцы под нагрузкой на угол до 30°. Для количественной оценки качества восстановления сплошности образцы разрывали по плоскости схватывания. Напряжение разрыва сравнивали с табличным значением временного напряжения разрыва.

Схватывание поликристаллических металлических поверхностей носит очаговый характер. Пятно контакта составляет не более 8 % от общей площади.

Максимальная прочность залеченных участков достигает 7–10 % на образцах, подвергнутых одноосному сжатию, ортогональному плоскости залечивания, которое в совокупности с поворотом поверхностей позволяет наиболее эффективно удалить поверхностную пленку, которая является серьезным препятствием для схватывания. Вторая серия опытов показала, что совместное действие одноосного сжатия, взаимного поворота поверхностей и электрического тока, а также нагрева, обеспечивает значительное увеличение прочности залеченных участков до ~50 % от табличной.

Залечить модельную трещину в металлических образцах можно лишь предварительным совмеще-

нием берегов раскола и разрушением поверхностных пленок, покрывающих контактирующие поверхности. Основным препятствием для схватывания в металлах является рельеф поверхностей. Невершенство поверхностей образцов, включающее слабые повреждения, загрязнения, высокую шероховатость, сферичность препятствует формированию непрерывной границы раздела. Механическая деформация приводит к вскрытию ювенильных поверхностей, в результате чего происходит перекрытие потенциала металлической связи, что обеспечивает восстановление сплошности.

Таким образом, выявлена корреляция между совершенством поверхностей и способностью к залечиванию в поликристаллических металлических образцах.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО МЕТОДА НА ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

© А.И. Стерелюхин, Н.И. Старцева

Исследовательский метод в дидактике средней школы рассматривается как «наиболее совершенное средство обобщения знаний» и используется в целях обучения школьников «приобретать знания, исследовать предмет или явление, делать выводы и применять добытые знания и навыки в жизни» [1]. Можно выделить основные этапы этого метода: наблюдение фактов и явлений, подлежащих исследованию, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, построение плана исследования, осуществление плана исследования, оформление решения, проверка решения, практические выводы.

На занятиях физического практикума, который проводится со студентами естественнонаучных специальностей университета, мы применяем этот метод. Использование этого метода предусматривает выполнение части работ физического практикума не по привычным инструкциям, а по заданиям, представленным на карточках. Особенно плодотворно применение этого метода в работе со студентами, имеющими высокий уровень подготовки по физике.

В качестве примера рассмотрим методику применения этого метода при выполнении работы практикума «Определение разрешающей способности глаза» [2]. В беседе со студентами выясняем, что разрешающая способность глаза ограничена из-за явления дифракции. Если перед глазом расположен непрозрачный экран с отверстием, диаметр которого меньше диаметра зрачка, то разрешающая способность глаза уменьшается вследствие дифракции на отверстии. При этом показываем белый экран, в центре которого поставлены две точки на расстоянии 1 мм друг от друга. Студенты убеждаются, что на определенном расстоянии глаз перестает различать две точки, они сливаются в одну.

Формулируем гипотезу. Она состоит из двух частей: 1) расстояние, на котором две точки на экране сливаются в одну, зависит от диаметра отверстия; 2) разрешающая способность глаза зависит от диаметра отверстия. Для экспериментальной проверки первой части гипотезы ставим перед студентами задачу: исследовать, как зависит это расстояние от диаметра отверстия, сквозь которое смотрит наблюдатель. Студенты получают экраны с отверстиями различных диаметров (0,3; 0,5; 1,0; 1,5 и 2 мм). Они выполняют исследования, записывая при этом результаты в таблицу.

После выполнения этой части задания студенты приступают к проверке второй части гипотезы. В связи с этим вместе с ними формулируем следующую задачу: принимая расстояние между точками за длину дуги окружности, а расстояние  $R$  от глаза до экрана с двумя точками за радиус окружности, вычислите минимальное угловое расстояние по формуле:

$$\varphi \approx \frac{1}{2\pi R} 360^\circ = \frac{1}{2\pi R} 360 \cdot 60' \approx 3420' \frac{l}{R}.$$

Постройте график зависимости разрешающей способности глаза  $\varphi$  от диаметра отверстия в экране.

После построения графика предлагаем студентам провести анализ результатов и установить значение угла, которое практически не уменьшается при дальнейшем увеличении диаметра отверстия в экране перед глазом. Отметив это значение угла, надо оценить линейные размеры светочувствительных элементов сетчатки глаза – колбочек. После выяснения указанных размеров предлагаем студентам сравнить результаты работы со справочными данными.

Проводя со студентами заключительную беседу, предлагаем им выделить основные этапы своей работы.