УДК 620.184.6

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНФОКАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО МИКРОСКОПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Клевцов Г.В., Мерсон Е.Д.

ГОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», Тольятти, e-mail: Klevtsov11948@mail.ru

Целью настоящей работы является оценка возможности использования лазерного микроскопа для исследования изломов металлических материалов путем сопоставления микрорельефов поверхностей разрушения, полученных на лазерном и электронном сканирующих микроскопах. Исследованы хрупкие, вязкие и усталостные изломы широкого класса металлических материалов на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (KЛСМ)LextOLS4000 и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) SIGMA. Показано, что микрорельеф хрупких изломов, полученных при ударном нагружении образцов из сталей 20ГЛ и 110Г13 (скол и межзеренное хрупкое разрушение), а также микрорельеф усталостного излома алюминиевого сплава AK4-1, полученный в лазерном микроскопе, менее информативный, чем микрорельеф, полученный в СЭМ.

Ключевые слова: лазерный и электронный сканирующие микроскопы, металлические материалы, ударное и усталостное разрушение, излом, микрорельеф

ON THE POSSIBILITY OF USING OF CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPY FOR INVESTIGATION OF METALLIC MATERIALS FRACTURE SURFACES

Klevtsov G.V., Merson E.D.

Togliatty State University, Togliatti, e-mail: Klevtsov11948@mail.ru

The purpose of the present work is to explore the capacity of confocal laser scanning microscope (CLSM) for observations of fracture surfaces of metallic materials. Brittle, ductile and fatigue fracture surfaces of different types of metallic materials have been studied with confocal laser scanning microscope Lext OLS4000 and scanning electron microscope (SEM) SIGMA. The features of brittle fracture of impact tested 20GL and 110G13 steels (cleavage and intergranular fracture type) as well as fatigue character of fracture surfaces of titanium Grade 4 specimens can be fully identified with CLSM. 2D CLSM and SEM images of these types (cleavage, intergranular and fatigue) of fracture surfaces are found to be nicely comparable. Moreover 3D CLSM images in certain cases can provide much more useful information in terms of topographical characteristics and roughness of fracture surface.Nevertheless CLSM images of ductile fracture surface of impact tested aluminum alloy AK4-1appear to be less informative than SEM ones and do not show all features of these fracture types.

Keywords:confocal laser scanning microscopy, scanning electron microscopy, metallic materials, impact and fatigue tests, brittle, ductile and cleavage fracture surface

Для исследования микрорельефа поверхности разрушения металлических материалов, например, при диагностике разрушения конструкций и деталей машин, наибольшее распространение получили сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), обладающие высокой глубиной резкости и не требующие трудоемких методик получения реплик, необходимых при исследовании изломов в просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ) [1–4]. Использование для решения вышеуказанной задачи оптических микроскопов невозможно из-за малой глубины резкости при высоких увеличениях [2, 4].

Появившийся сравнительно недавно новый класс приборов – конфокальных лазерных сканирующих микроскопов (КЛСМ) – обладает высокой глубиной резкости, не требует металлического контакта и создания вакуума при исследовании объекта, т.к. является разновидностью оптического микроскопа и позволяет наблюдать объект в 3D формате [5].

Целью настоящей работы является оценка возможности использования лазерного микроскопа для исследования изломов металлических материалов путем сопоставления микрорельефов поверхностей разрушения, полученных в лазерном и растровом микроскопах.

Материалы и методики исследования

В качестве исследуемых материалов использовали сталь 20ГЛ в нормализованном состоянии (средний размер зерна $d_{\rm cp} = 15$ мкм), аустенитную сталь 110Г13 после закалки ($d_{\rm cp} = 60$ мкм), алюминиевый сплав АК4-1 в субмикрокристаллическом состоянии ($d_{\rm cp} = 0,3$ мкм) и титан Grade 4 в горячекатаном состоянии ($d_{\rm cp} = 25$ мкм). Ударные испытания образцов из стали 20ГЛ проводили при температуре







Рис. 1. Транскристаллитный скол в стали 20ГЛ (а, б), межзеренное хрупкое разрушение стали 110Г13 (в, г) и ямочный микрорельеф излома сплава АК4-1: а, в, д–лазерный микроскоп; б, г, е – СЭМ

FUNDAMENTAL RESEARCH №11, 2012

-60°С; из стали 110Г13 – при температуре –196°С; из сплава АК4-1 – при комнатной температуре. Образцы из титана марки Grade 4 испытывали на усталость по схеме трехточечного изгиба при комнатной температуре.

Полученные изломы исследовали на лазерном конфокальном сканирующем микроскопе LextOLS4000 и сканирующем электронном микроскопе SIGMA фирмы «ZEISS».

Результаты исследования и их обсуждение

Ударное разрушение сталей 20ГЛ и 110Г13 произошло хрупко. Сталь 20ГЛ разрушилась по механизму транскристаллитного скола с образование фасеток скола с ручьистым микрорельефом (рис. 1 а, б). Сталь 110Г13 разрушилась по механизму межзеренного хрупкого разрушения (рис. 1 в, г). Сопоставление микрорельефов полученных изломов в лазерном и электронном микроскопах показало хорошую их идентичность: в обоих случаях хорошо видны фасетки и трещины по границам зерен (рис. 1 а-г). Причем микрорельеф фасеток скола, наблюдаемый в лазерном микроскопе (рис. 1 а), больше напоминает микрорельеф фасеток, который можно наблюдать в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) (рис. 2 а), чем вСЭМ (рис. 1 б). Микрорельеф фасеток скола и межзеренного хрупкого разрушения наглядно демонстрирует изображение поверхности изломов в 3D формате (рис. 3 а, б).

Ударное разрушение алюминиевого сплава АК4-1 произошло вязко с образованием ямочного микрорельефа (рис. 1 д, е). Причем вСЭМ хорошо видны глубокие равноосные ямки с частицами в центре ямок (рис. 1 е), в то время как в лазерном микроскопе ямки менее информативны (рис. 1 д) и больше напоминают ямки, наблюдаемые в ПЭМ (рис. 2 б).



а

б

Рис. 2. Транскристаллитный скол стали 30ХГСА (а) и ямочный микрорельеф изломов аустенитной стали 12Х2Н4АШ (б) (ПЭМ) [4]: a – x5000; б – x6000

Микрорельеф усталостного излома титана Grade 4 в зоне усталостного развития трещины l_i и в зоне долома [1, 2] представлен на рис. 4. Хорошо видно, что в лазерном микроскопе (рис. 4. а, в) достаточно адекватно отражается микрорельеф поверхности в данных зонах, наблюдаемый в СЭМ (рис. 4 б, г). Общий рельеф поверхности усталостного излома хорошо иллюстрирует изображение излома в 3D формате (рис. 3 в).

TECHNICAL SCIENCES



а





В

Рис. 3 – Транскристаллитный скол в стали 20ГЛ (а), межзеренное хрупкое разрушение стали 110Г13 (б) и очаг усталостного разрушения образца из титана Grade 4 (в) в 3D формате

Заключение

Микрорельеф хрупких изломов, полученных при ударном нагружении образцов из сталей 20ГЛ и 110Г13 (скол и межзеренное хрупкое разрушение), а также микрорельеф усталостного излома титана Grade 4 адекватно отражает лазерный микроскоп LextOLS4000. Однако ямочный микрорельеф вязкого излома алюминиевого сплава AK4-1, полученный в лазерном микроскопе, менее информативный, чем микрорельеф, полученный в СЭМ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-08-00208) и гранта Министерства образования и науки РФ No. 11.G34.31.0031

Список литературы

1. Ботвина Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов. – М.: Наука, 1989. – 230 с.

2. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций / Г.В. Клевцов, Л.Р. Ботвина, Н.А. Клевцова, Л.В. Лимарь. – М.: МИСиС, 2007. – 264 с.

3. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М.А. Балтер, А.П. Любченко, С.П. Аксенова,

FUNDAMENTAL RESEARCH №11, 2012

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



Рис. 4. Микрорельеф зоны усталостного развития трещины (зона l) (а, б) и зоны долома (в, г) усталостного излома титана Grade 4: а, в – лазерный микроскоп LextOLS4000; б, г – СЭМ SIGMA фирмы «ZEISS»

А.А. Чернякова, Л.Я. Гольдштейн, Е.А. Куриц. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.

В

 Энгель Л., Клингел Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение: Справ.изд. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.

5. Hovis D.B., Heuer A.H. The use of laser scanning confocal microscopy (LSCM) in materials science // Journal of Microscopy. – 2010. – Vol. 240, № 3. – P. 173–180.

References

1. Botvina L.R. Kinetika razrusheniya konstruktsionnykh materialov [Fracture kinetics of construction materials]. Moscow, NaukaPubl., 1989.230 p.

2. Klevtsov G.V., Botvina L.R., Klevtsova N.A., Limar L.V. Fraktodiagnostika razrusheniya metallicheskikh materialov i konstruktsiy [Fracture diagnostic of metallic materials and constructions]. Moscow, MISiSPubl., 2007. 264 p.

3. Balter M.A., Lyubchenko A.P., Aksenova S.P., Chernyakova A.A., Goldshteyn L.Ya., Kurits Ye.A. Fraktografiya – sredstvo diagnostiki razrushennykh detaley [Fractography – means of parts fracture diagnostics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 184 p.

10.00

Г

1 1 7 3

4. Engel L., Klingele H. Scanning Electron Microscopy: Fracture. A Handbook. Munich, Carl Hanser, 1982. 232 p.

5. Hovis D.B., Heuer A.H. Journal of Microscopy, 2010, v. 240, no. 3, pp. 173–180.

Рецензенты:

Ясников И.С., д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры общей теоретической физики Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти;

Викарчук А.А., д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель НОЦ «Физическое материаловедение и нанотехнологии» Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти.

Работа поступила в редакцию 06.11.2012.