

К.т.н. Горбачев Л.А.

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**К ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЦИКЛИЧЕСКИ
ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕТАЛЛОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ
ФАЗООБРАЗОВАНИЙ**

При циклическом нагружении некоторых металлов в равновесном состоянии (углеродистые стали, медь, поликристаллы свинца, алюминий и др.) на снимках микроструктур появляются темные образования – пятна, в начальной стадии - в виде отдельных мелких потемнений, которые в дальнейшем, особенно к началу разрушения, могут распространяться на все зерно и занимать значительную часть деформированного участка.

В данной работе анализировалась микроструктура пластинчатых образцов – сталь 08кп ($C = 0.05 - 0.12\%$; $Mn = 0.25 - 0.50\%$; $Si = 0.03\%$), рабочее сечение – 1×10 мм. Циклическое нагружение - знакопеременным изгибом с частотой 2800 цикл/мин проводилось на установке с постоянной амплитудой размаха. Температурно-кинетические кривые усталости (разность ТЭДС) получены автоматической записью на пирометре Н.С. Курнакова с использованием тела образца в качестве составляющего элемента дифференциальной термопары.

На рис. 1 показана кинетическая кривая усталости (сталь 08кп), на которой указаны точки наблюдения, и микроструктуры, соответствующие этим точкам; штриховые линии и римские цифры на кривой – разбивка по периодам усталостного разрушения. Классификация этих периодов была предложена ранее [1, 2].

Из данных рис. 1 можно видеть, что после завершения стадии активного образования полос скольжения (точка наблюдения 2) новые

полосы практически не появляются, зато рельефность и плотность темных образований постепенно возрастает, достигая максимума к концу третьего периода (точка 3), что может свидетельствовать об исчерпаниии запаса пластичности и о переходе к стадии хрупкого разрушения.

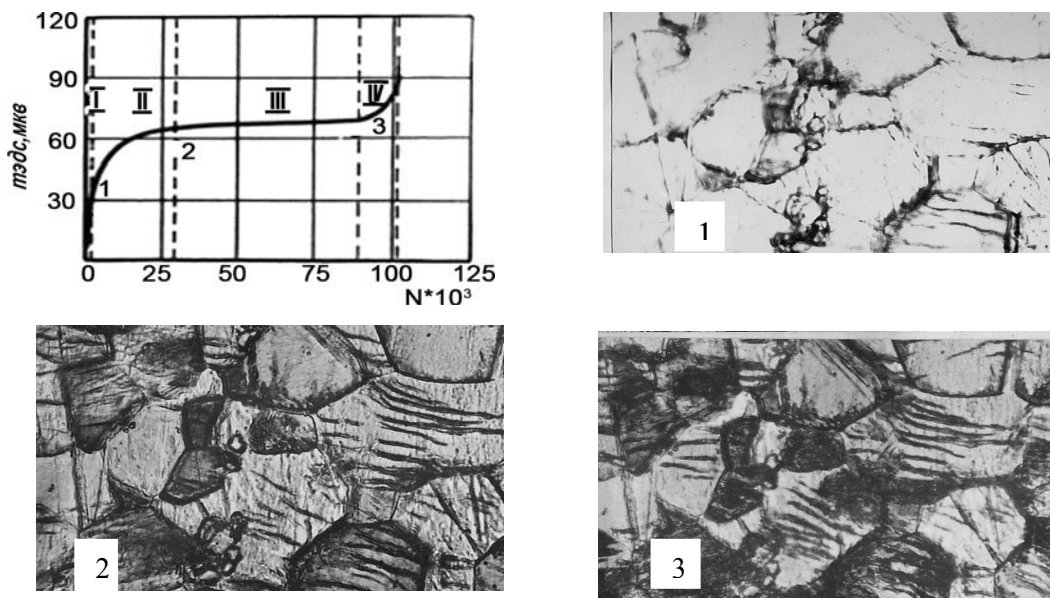


Рис. 1. Кинетическая кривая усталости и снимки микроструктур, соответствующих точкам наблюдения на кривой. х 500. Штриховые линии и цифры на кривой – разбивка по периодам усталостного разрушения [1,2]

В работе [1] с применением Оже-спектроскопии, рентгенодифракционного и рентгенофлуоресцентного анализа, измерения нанотвердости и электронной микроскопии однозначно установлено, что эти образования представляют собой новые фазы (химические соединения), возникшие под воздействием циклических нагрузок. При этом рентгенодифракционный анализ показал (дифрактометр X'Pert PRO PANanalytical), что по межплоскостным расстояниям наиболее близки соединения (фазы): карбонат железа $FeCO_3$ и оксалат железа

C_2FeO_4 . На рис. 2 показан вид этих образований по полосам скольжения и в сплошном пятне.

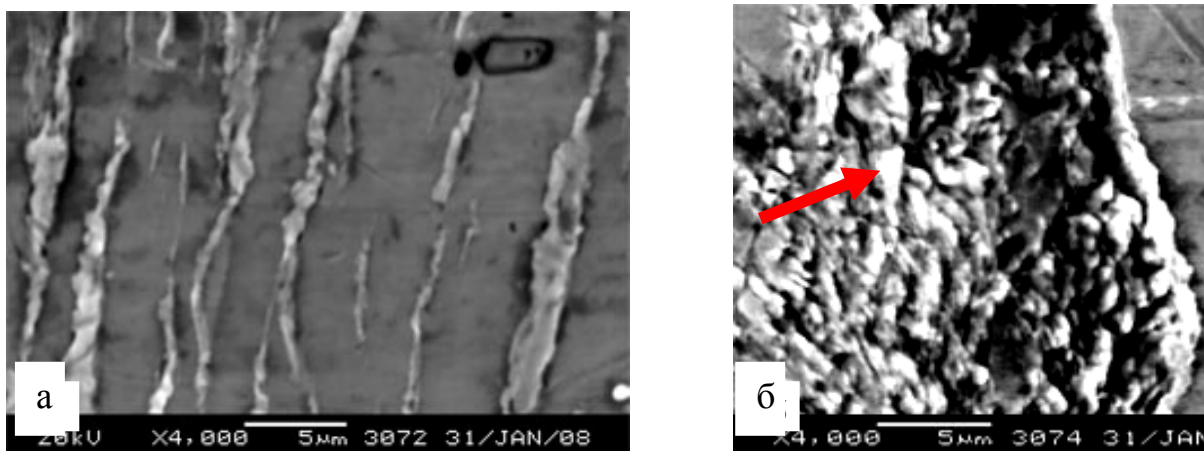


Рис. 2. Новые фазы – образования:

а – по полосам скольжения; б – в сплошном пятне

Из данных рис. 2 видно, что эти фазы располагаются по полосам скольжения, что и объясняет увеличение их ширины в процессе циклического нагружения, а на темных пятнах они образуют сплошной массив с наличием пустот.

Выше отмечалось, что это явление наблюдается при циклическом нагружении других металлических материалов. На рис. 3 приведены некоторые примеры.

Открытое явление образования новых фаз под действием циклических нагрузок уточняет представления о процессах, связанных с усталостью, и, в частности, позволяет по-иному трактовать тот или иной результат, или обнаруженное явление.

На рис. 4 показана структура из работы [3] по исследованию усталости перлитно-ферритной стали.

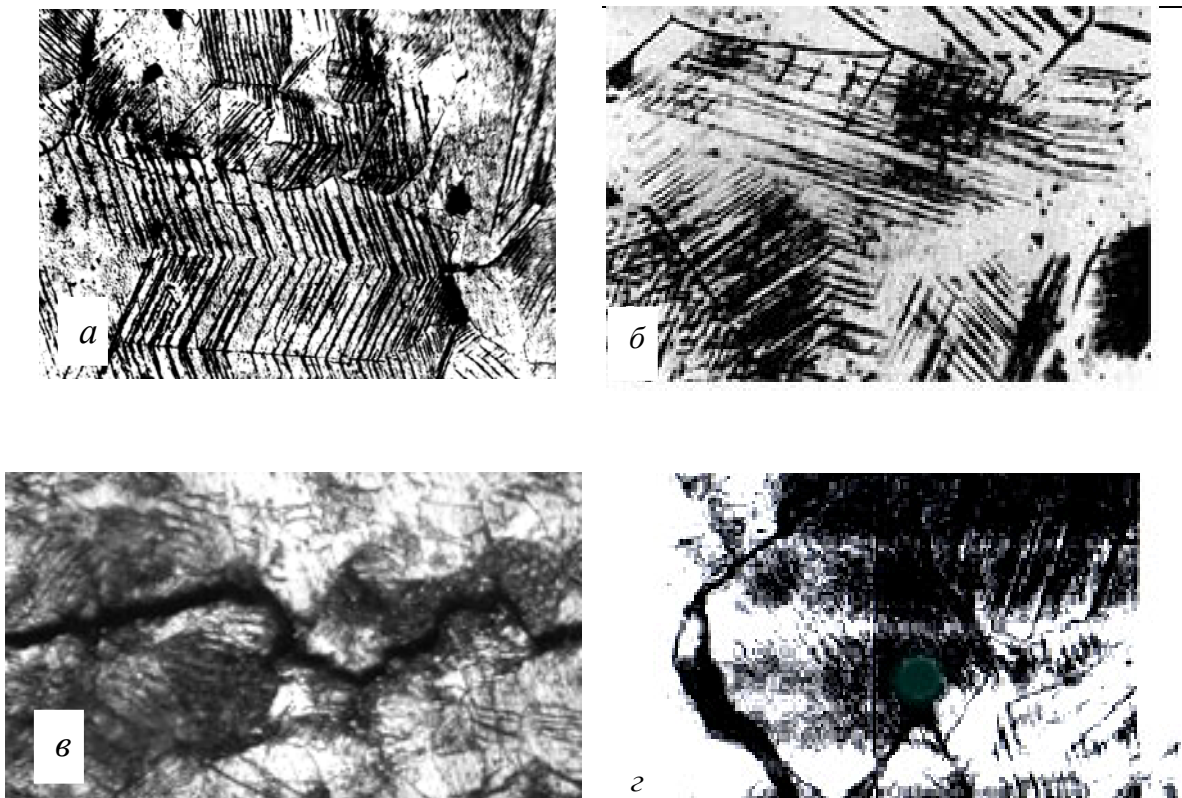


Рис. 3. Вид темных образований: а – медь; б – алюминий; в – сталь 08кп; г – свинец. х 500 (б, г – по литературным источникам [8,9])

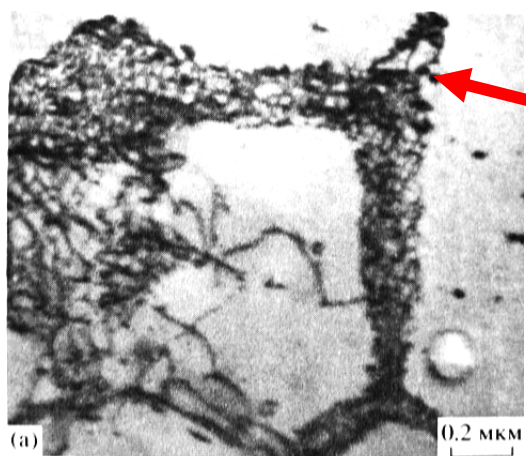


Рис. 4. а – дислокационные сплетения в феррите [3]

Сопоставительный анализ этой структуры с результатами данной работы позволяет утверждать, что ферритное зерно в центре снимка

«оторочено» прослойкой новых фаз, образовавшихся под воздействием циклического деформирования – совпадают даже формы и размеры отдельных частиц образовавшейся структуры (на рис. 2,б и рис. 4 отмечено стрелками).

В этой цитируемой работе [3], (рис. 4), авторы акцентировались на дислокационных сплетениях в зерне феррита, полагая, возможно, что «оторочка» - это перлит. Это не так. Перлит при любых энергетических воздействиях в такой форме не проявляется – это новая образовавшаяся фаза.

В цитируемой работе нет данных по кинетике, предопределяющей проявление такого сочетания – дислокационные сплетения и новая фаза. Несомненно, это представляет интерес для дальнейших исследований.

На рис. 5 приведена структура циклически деформированного сплава ХН67ВМТЮ [4].

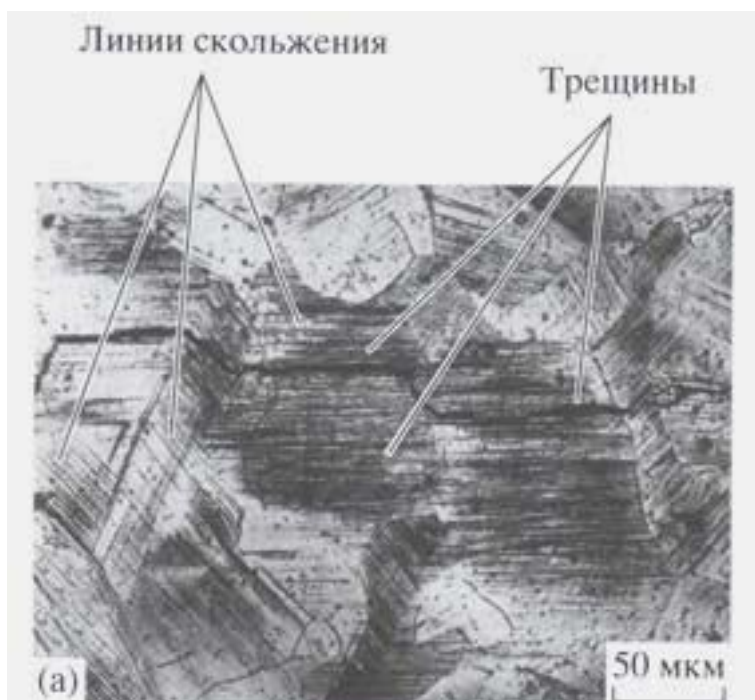


Рис. 5. Микрофотография поверхности образца сплава ХН67ВМТЮ [4]

Указующие линии на рис.5, [4], представляются не вполне

адекватными структурным составляющим снимка. Как и в предыдущем примере, сопоставительный анализ этой структуры с результатами данной работы позволяет предполагать, что собственно трещина здесь одна (магистральная, в верхней части снимка). Остальное – интенсивно деформированные зерна, прилегающие к магистральной трещине, с плотным расположением линий скольжения со следами образовавшихся новых фаз, поэтому эти зерна «потемнели».

Факт образования новых фаз подтвержден авторами работы [5] при знакопеременном изгибе фольги высокочистого алюминия А999. При этом, по данным этой работы, образовалась новая фаза – химическое соединение Al-S-O-C.

Таким образом, факт возникновения новых фаз в циклически деформируемых металлических материалах сомнений не вызывает. Причиной этого может быть циклическое трение в плоскостях скольжения интенсивно деформируемых зерен с возможным отделением субмикроскопических частиц металла. Под воздействием высоких температур в субмикрообъемах создаются условия для химических реакций [1], хотя причины и вид этих образований могут быть различными в зависимости от физико-химических свойств деформируемого материала.

Этот факт уточняет представления о процессах, связанных с усталостью. Можно предполагать, что степень интенсивности этих образований предопределяет долговечность циклически деформируемого материала – является своеобразным предупреждающим сигналом. Результаты данных исследований показывают, что эти фазы надежно обнаруживаются современными измерительными средствами. А это означает, что с их использованием можно прогнозировать по этому параметру уровень повреждаемости реальных деталей и конструкций. Тем более, что по другим

параметрам, схожим с открытым явлением, положительные результаты уже получены [6,7].

Список использованных источников:

1. Горбачев Л.А. Дефектообразования в структурах стали при циклическом нагружении: материалы IV Международной Интернет-конференции «Наука в информационном пространстве» (15-16 октября 2008 г.) / Л.А. Горбачев. – Днепропетровск, 2008. – С. 62-71.

2. Горбачев Л.А. О периодах процесса усталостного разрушения / Л.А. Горбачев, Т.А. Лебедев, Т.К. Маринец // Журнал прикладной механики и технической физики, 1970. – №5. – С.133-136.

3. Эволюция дислокационной структуры и образование микротрещин при усталости перлитно-ферритной стали / [Изотов В.И., Поздняков В.А., Лукьяненко Е.В. и др.] // ФММ. – 2008. – Т. 105. № 5. – С. 549-559.

4. Кукареко В.А. Влияние субмикроскопической структуры на циклическую долговечность никель-хромовых дисперсионно-твердеющих сплавов / В.А. Кукареко // ФММ. – 2009. – Т. 107. № 1. – С. 101-110.

5. Нелинейные волновые эффекты солитонов кривизны в поверхностных слоях поликристаллов высокочистого алюминия при интенсивной пластической деформации / [Панин В.Е., Елсукова Т.Ф., Егорушкин В.Е. и др.] // Физическая мезомеханика. – 2007. – Т. 10. № 6. – С. 21-32.

6. Сидохин Ф.А. Об определении кристаллографической ориентации монокристаллов методом Лауэ / Сидохин Ф.А., Сидохин А.Ф., Сидохин Е.Ф. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т. 75. № 1. – С. 35-37.

7. Иванов А.Н. Применение дифракционных методов для технологического контроля материалов / А.Н. Иванов, Ю.Д. Ягодкин // МиТОМ. – 2000. – № 8. – С. 11-15.

8. Лившиц Б.Г. Металлография: [учебник для вузов] / Б.Г. Лившиц. – М: Металлургия, 1990.

9. Физическая мезомеханика / [Панин В.Е., Елсукова Т.Ф., Панин А.В. и др.]. – 2004. – Т.10. №2. – С. 5-17.