



УДК 539.43:543.42:539.26:539.25

Л.А. Горбачев

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЦИКЛИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕТАЛЛОВ
С УЧЕТОМ НОВЫХ ФАЗОБРАЗОВАНИЙ

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 ($C = 0,05 \div 0,12 \%$; $Mn = 0,25 \div 0,50 \%$; $Si = 0,03 \%$), 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].

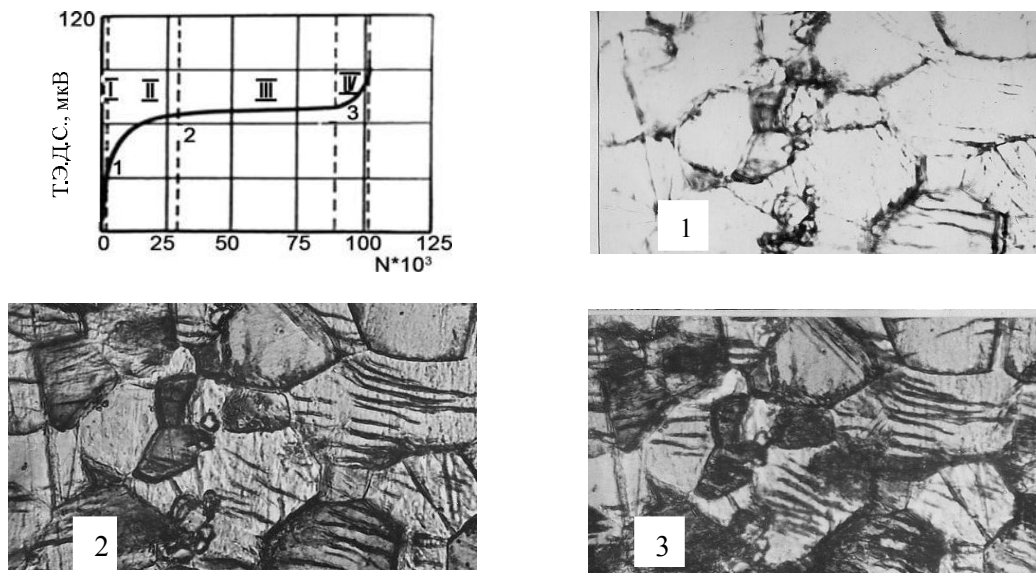


Рисунок 1 - Кинетическая кривая усталости и снимки микроструктур, соответствующих точкам наблюдения на кривой; $\times 500$

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 исчерпании запаса пластичности и о переходе к стадии хрупкого разрушения.

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.

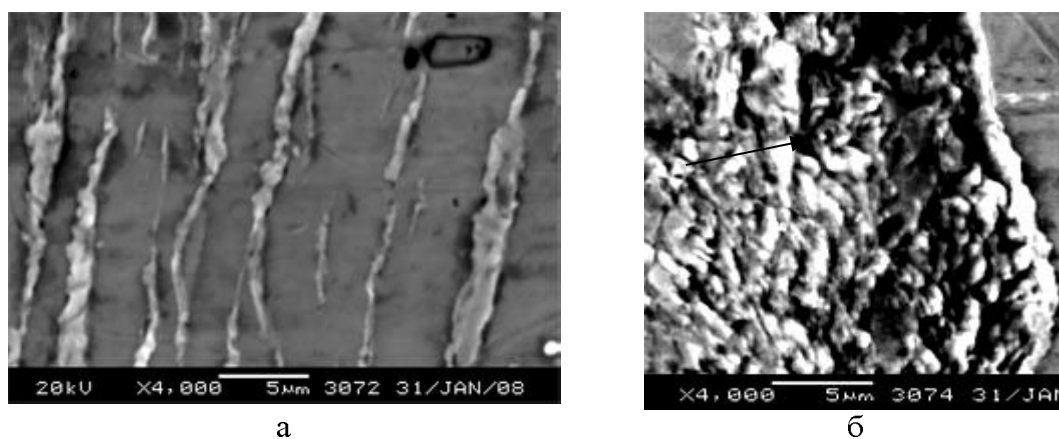


Рисунок 2 - Новые фазы – образования: а – по полосам скольжения; б – в сплошном пятне

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 [2] по исследованию усталости перлитно-ферритной стали.

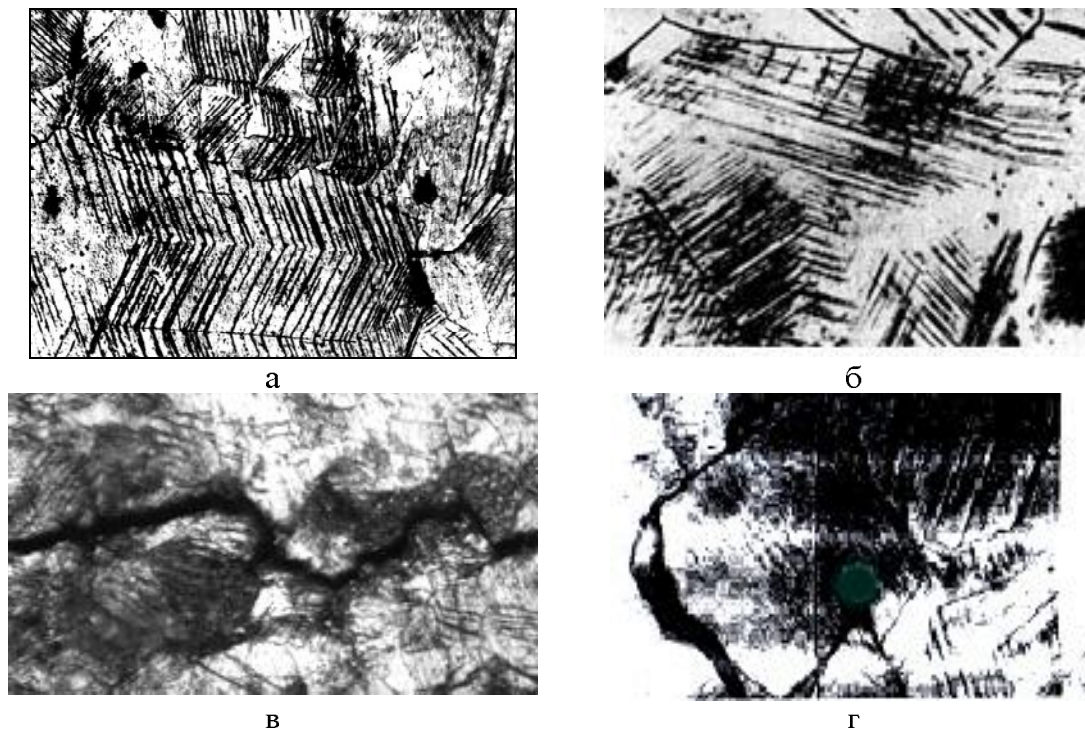


Рисунок 3 - Вид темных образований: а – медь; б – алюминий; в – сталь 08кп; г – свинец

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).

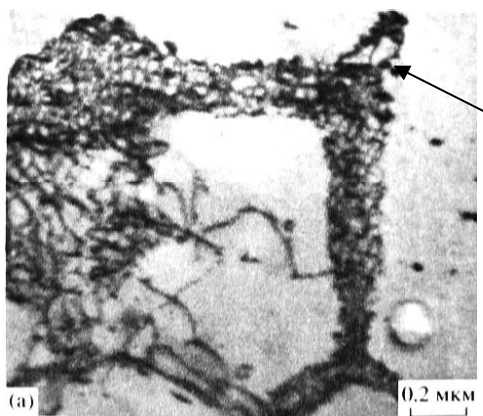


Рисунок 4 – Дислокационные сплетения в феррите [2]

На рис. 5 приведена структура циклически деформированного сплава ХН67ВМТЮ [9].

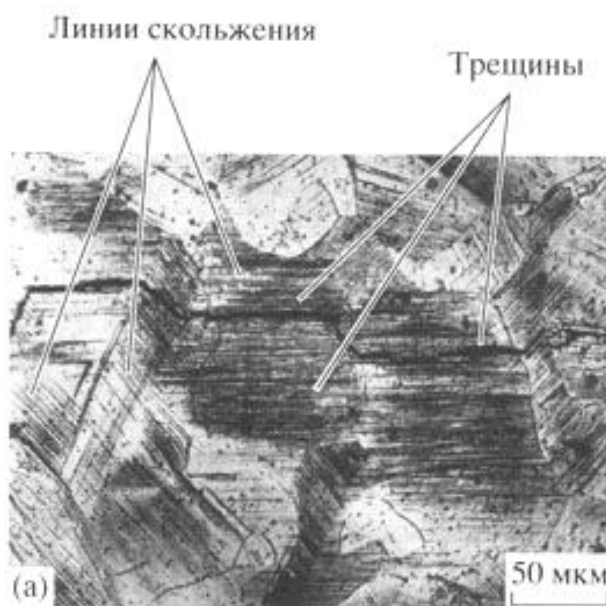


Рисунок 5 - Микрофотография поверхности образца сплава ХН67ВМТЮ [3]

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 [4] при знакопеременном изгибе фольги высококачественного алюминия А999. При этом образовалась новая фаза – химическое соединение Al-S-O-C. Трактовка авторов причин образования этой фазы: «Наконец, еще одним проявлением «холодного» массопереноса при интенсивной пластической деформации сильнонеравновесного алюминия А999 является образование на его поверхности хрупкой пленки химического соединения. В условиях сильно выраженной кривизны экструдированного материала образовавшаяся на его поверхности хрупкая пленка растрескивается и отслаивается. Зондовый анализ показал, что эта пленка представляет собой химическое соединение Al-S-O-C. Другими словами, зона растягивающих нормальных напряжений проявляется как «насос», выкачивающий малорастворимые примеси на поверхность экструдированного материала. Этот эффект может развиваться при комнатной температуре только по механизму восходящего массопереноса в сильнонеравновесном материале. Квазивязкий характер экструзии материала, видимый в зоне отслоившейся хрупкой пленки, также свидетельствует о возможности эффектов восходящего массопереноса примесей на поверхность алюминия А999 в условиях его интенсивной пластической деформации».

Такая трактовка причин образования новой фазы представляется интересной, но из нее неясно – под влиянием каких факторов образовалось это химическое соединение (для чего нужны достаточно высокие температуры [1]), которое по принципу насоса перемещается на поверхность экструдированного материала.

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

субмикробиообъемах создаются условия для химических реакций [1].

Этот факт уточняет представления о процессах, связанных с усталостью. Можно считать, 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 работоспособности реальных деталей и конструкций. Тем более, что по другим параметрам, схожим с открытым явлением, положительные результаты уже получены [5-6].

Список литературы

1. Горбачев Л.А. Исследование структуры стали 08кп при циклическом деформировании // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2009. - Т. 75. - № 1. - С. 37-40.
2. Изотов В.И. Эволюция дислокационной структуры и образование микротрещин при усталости перлитно-ферритной стали / В.И. Изотов, В.А. Поздняков, Е.В. Лукьяненко // Физическая мезомеханика. - 2008. - Т. 105. - № 5. - С. 549-559.
3. Кукареко В.А. Влияние субмикроскопической структуры на циклическую долговечность никель-хромовых дисперсионно-твердеющих сплавов // Физическая мезомеханика. - 2009. - Т. 107. - № 1. - С. 101-110.
4. Панин В.Е. Нелинейные волновые эффекты солитонов кривизны в поверхностных слоях поликристаллов высокочистого алюминия при интенсивной пластической деформации / В.Е. Панин, Т.Ф. Елсукова, В.Е. Егорушкин // Физическая мезомеханика. - 2007. - Т. 10. - № 6. - С. 21-32.
5. Сидохин Ф.А. Об определении кристаллографической ориентации монокристаллов методом Лауэ / Ф.А. Сидохин, А.Ф. Сидохин, Е.Ф. Сидохин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2009. - Т. 75. - № 1. - С. 35-37.
6. Иванов А.Н. Применение дифракционных методов для технологического контроля материалов / А.Н. Иванов, Ю.Д. Ягодкин // МИТОМ. - 2000. - № 8. - С. 11-15.

Получено 25.02.10

ПО СТРАНИЦАМ



ГРИБЫ В БЕНЗОБАКЕ

В джунглях Патагонии обнаружен микроскопический грибок, паразитирующий на деревьях и производящий для защиты от конкурентов смесь из углеводов, низкомолекулярных спиртов и эфиров. Это практически готовое биогорючее для двигателей внутреннего сгорания. Если выращивать грибок в биореакторах на целлюлозе (отходах сельского хозяйства, деревообрабатывающей и бумажной промышленности), горючее удастся получать в больших масштабах. Не исключено, что, используя методы геномной инженерии, биологи смогут еще увеличить выход топлива.

«Наука и жизнь» № 3, 2009

УДК 621.762