

ИЗМЕНЕНИЕ В ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Деформационное упрочнение металла влияет на такие эксплуатационные характеристики, как ползучесть и усталость металлов, от которых зависит показатель надежности и долговечности машин.

Вследствие особенности усталостных испытаний предварительно деформированного металла, связанных с ограниченными размерами образцов, стандартные методы низкочастотных испытаний на циклическую прочность не пригодны, поэтому применялся способ нагружения изгибными колебаниями высокой частоты с использованием инерции самого образца.

Наряду с температурно-скоростным фактором схема напряженного состояния существенно оказывает влияние на формирование тонкой структуры и деформационное упрочнение. Поэтому предварительное деформирование при различном сочетании компонентов главных нормальных напряжений приводит к разному эффекту повышения усталостной прочности металла.

Динамическое старение происходящее во время пластического течения металлов в основном связано с блокированием дислокаций примесными атомами или их атмосферами, его непосредственное наблюдение имеющимися средствами не представляется возможным.

Однако имеется предположение, что в местах максимальных сдвигов или других зонах деформированного металла возможно образование некогерентных выделений в виде мелкодисперсных частиц, которые можно наблюдать в электронном микроскопе.

С другой стороны, в случае обнаружения в деформированном металле мелкодисперсных частиц, ставилась задача попытаться хотя бы качественно определить разницу в их концентрации в зависимости от схемы напряженного состояния и температуры испытания.

Концентрация мелкодисперсных фаз в местах сдвигов, безусловно, зависит от природы материалы и температурно-скоростных условий деформирования, определяющих интенсивность протекания процесса деформационного старения.

Таким образом, предварительно деформируя металл в условиях схем напряженного состояния (растяжения, кручения и сжатия), вообще говоря, можно получить неодинаковый эффект изменения сдвигающего напряжения с ростом степени деформации.

В стали У7А и в ряде других деформационно стареющих металлов и сплавов, после соответствующей обработки, примеси других элементов находятся в растворенном состоянии и выпадают в виде дисперсных фаз во время пластической деформации. Обычно это выделение происходит в местах наибольшего сдвига по плоскостям скольжения, где происходит зарождение и движение дислокаций.

Двигаясь в плоскости скольжения, дислокация встречает выделившиеся частицы и обволакивает их кольцевыми неподвижными дислокациями, в результате чего повышается сопротивление деформации, и металл упрочняется.

Электронномикроскопические исследования коллоидных реплик, снятых с образцов стали У7А, при удалении от зоны излома показывают, что общая концентрация частиц уменьшается и заметно уменьшается концентрация более мелких частиц.

Выделившиеся частички примесей и добавок, определенным образом оказывают влияние на движение дислокаций, а также на величину общего сдвигающего напряжения или истинного сопротивления течению. Сопротивление движению дислокаций в первую очередь зависит от характера основного материала и примесей, в частности от их модулей сдвига.

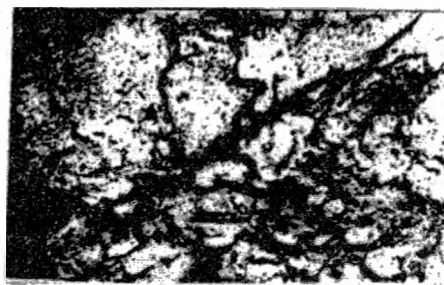
На рис. 1 приведены электронно-микроскопические исследования коллодиевых реплик, снятых с образцов стали У7А, предварительно деформированных растяжением и сжатием, а затем испытанных на усталостную прочность. Микроструктура образцов стали У7А содержит выделение вторичных фаз, образовавшихся из твердого раствора, как в процессе динамического деформационного старения, так и в процессе циклического нагружения. На рис. 1, б приведен снимок, иллюстрирующий образование усталостной трещины под действием знакопеременных циклических напряжений.

Исследуя поведение в процессе предварительной пластической деформации при разных схемах напряженного состояния деформационно стареющих металлов и их последующей усталостной прочности, следует отметить основные механизмы, способствующие повышению статической и циклической прочности при протекании динамического деформационного старения:

- а) Блокирование дислокаций атмосферами Коттрелли (образование дальнего порядка атомов внедрения у дислокаций);
- б) Блокирование дислокаций у препятствий за счет упорядочения атомов внедрения вокруг дислокаций атмосферы Снука;
- с) Увеличение сопротивления трению движению дислокаций вследствие упорядочения атомов внедрения вокруг движущихся дислокаций;
- д) «вязкое сопротивление», испытываемое движущимися дислокациями, благодаря образованию вокруг дислокаций атмосфер и атомов внедрения;
- е) Блокирование дислокаций, обусловленное выделением мелкодисперсных частиц примесей в процессе статического и усталостного нагружения.



а)



б)

Рис. 1. Микрофотографии зоны образцов вблизи усталостного излома

В наибольшей степени при циклическом нагружении предварительно деформированного металла проявляется механизм сопротивления, испытываемый движущимися дислокациями, благодаря образованию вокруг дислокаций атмосфер и атомов внедрения, и как следствие, образование дислокаций, обусловленное выделением мелкодисперсных частиц примесей в процессе статического и усталостного нагружения.

Сталь У7А, $g_s = 0,1$, $t = 200^\circ\text{C}$

А – деформация растяжением

Б – деформация сжатием