

УДК 620.178

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ ДЕФОРМИРУЕМОЙ СЖАТИЕМ СТУПЕНЧАТО ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

Шетулов Д.И., Мыльников В.В., Романов А.Д.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: mrmynikov@mail.ru

В работе определены основные параметры микропластической деформации характеризующие изменения механизмов пластической деформации. Показано что в зависимости от структурного состояния сплавов в заданном интервале напряжений наблюдается в основном от 2 до 5, реже 7 стадий, ограниченных критическими напряжениями которые могут характеризовать способность сплавов сопротивляться малым пластическим деформациям. Построены зависимости, отражающие постадийное развитие пластической деформации при нагружении до предела текучести. Установлено, что чем меньше величина изменения напряжения релаксации, тем больше сопротивление стали к микропластическим деформациям, и следовательно, можно ожидать большей стабильности свойств материала.

Ключевые слова: микропластическая деформация, релаксация напряжений, критические напряжения, дислокационно-сдвиговые внутризеренные процессы

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF THE MICROSCOPIC DEFORMATION OF THE DEFORMABLE STEEL COMPRESSION STEPWISE INCREASING LOAD

Shetulov D.I., Mylnikov V.V., Romanov A.D.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: mrmynikov@mail.ru

In this paper the main parameters characterizing the changes microplastic deformation mechanisms of plastic deformation. It is shown that depending on the structural state of the alloy in the specified voltage range is observed mostly between 2 and 5, at least 7 stages, limited critical stresses that may characterize the ability of alloys to resist small plastic deformation. The dependences reflecting the stepwise development of plastic deformation under load to yield. Found that the smaller the change of voltage relaxation, the greater the resistance of steel to microplastic deformation, and hence it is possible to expect more stable material properties.

Keywords: microflow, stress relaxation, critical voltage, intragranular dislocation-shear processes

Стали и сплавы с высокими упругими свойствами находят широкое применение в машино- и приборостроении. В машиностроении их используют для изготовления рессор, амортизаторов, силовых пружин различного назначения, в приборостроении для многочисленных упругих элементов: мембран, пружин, пластин реле, сильфонов, растяжек, подвесок и т.п.

Пружины, рессоры машин и упругие элементы приборов характеризуются многообразием форм, размеров, различными условиями работы. Особенность их работы состоит в том, что при больших статических, циклических или ударных нагрузках в них не допускается остаточная деформация. В связи с этим все стали и сплавы с высокими упругими свойствами, кроме механических свойств, характерных для всех конструкционных материалов (прочности, пластичности, вязкости, выносливости), должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям [4].

В подавляющем большинстве случаев детали конструкций работают при напряжениях ниже предела текучести материала, из которо-

го они изготовлены. Поэтому наряду с пределом текучести и пределом прочности важной характеристикой механических свойств металлов и сплавов является сопротивление микропластической деформации [1-2].

Целью работы является определение основных параметров микропластической деформации с учетом особенностей физических процессов релаксации напряжений мартенситностареющей стали.

Исследованию была подвергнута мартенситностареющая сталь 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210). Экспериментальные измерения параметров микропластической деформации (ПМД) стали ВСК-210, показаны на рис. 2. О корреляции параметров микропластической и циклической деформации сообщалось в работах [3, 5-6].

Для определения параметров микропластической деформации (ПМД) образцы, диаметром 3,5 мм и высотой 7 мм, деформировались сжатием ступенчато возрастающей нагрузкой до предела текучести на специальном прессе большой жесткости ($I/k = 10^4$ МН/м). Массивное монолитное ядро, изготовленное из высокопрочной ста-

ли, клиновое деформирующее устройство, мембраны, предотвращающие смещение нижней траверсы в горизонтальной плоскости, обеспечивающие высокую жесткость деформирующего устройства исключают перекос образца при испытаниях. Высокая жесткость испытательного устройства необходима для исключения вклада машины в регистрируемую величину релаксации напряжений. Для регистрации величины релаксации напряжения в процессе испытаний используется датчик силы, который представляет собой стальное упругое тело с наклеенными на него по мостовой схеме тензодатчиками. Сигнал с датчика через усилитель с компенсирующим устройством подается на самопишущий регистрирующий прибор, который записывает кривую релаксации после каждого цикла нагружения образца. Величина изменения релаксации напряжения $\Delta\sigma_n$ через равные промежутки времени ($t = 150$ с). Затем строились зависимости $\Delta\sigma$ ($\Delta\sigma_n$), от-

ражающие поэтапное развитие пластической деформации при нагружении до предела текучести (рис. 1).

В зависимости от структурного состояния сплавов в этом интервале напряжений наблюдается в основном от 2 до 5, реже 7 стадий, ограниченных критическими напряжениями $\Delta\sigma^0, \sigma^I, \sigma^{II}$, которые, вместе с соответствующими величинами $\Delta\sigma^0, \Delta\sigma^I$ и $\Delta\sigma^{II}$, могут характеризовать способность сплавов сопротивляться малым пластическим деформациям.

Напряжение σ^{II} , ограничивает область малых деформаций ($E_{ост} = 4 \cdot 10^{-4}$), предшествует пределу текучести и близко к нему по величине. Напряжение σ_2^0 , отвечающее накоплению остаточной деформации $E_{ост} \leq 4 \cdot 10^{-4}$ и ограничивающее более или менее протяженный участок зависимости $\Delta\sigma$ ($\Delta\sigma_n$), с $\Delta\sigma = const$ (рис. 2), соответствует пределу пропорциональности или физическому пределу макроупругости сплава.

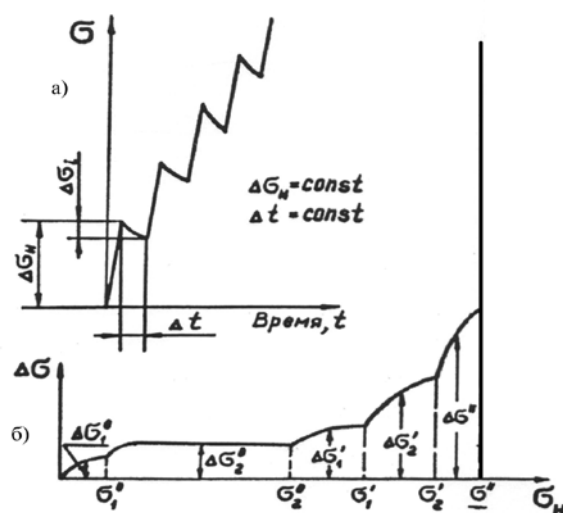


Рис. 1. Схема нагружения при испытаниях (а) и схема полученной зависимости $\Delta\sigma = f(\sigma_n)$

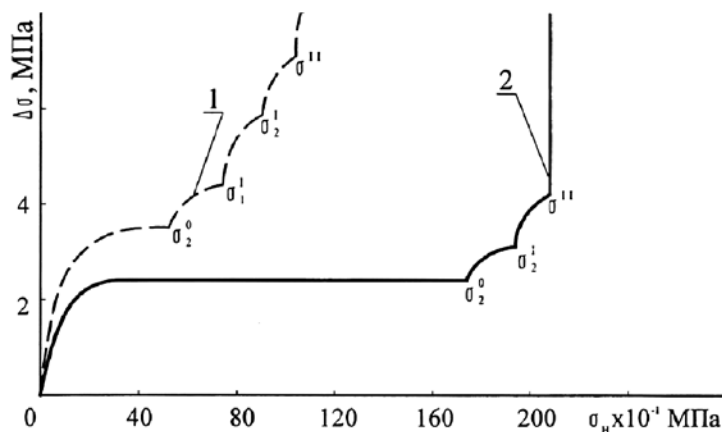


Рис. 2. Влияние старения на развитие микропластической деформации в стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ: 1 – закаленное состояние; 2 – после старения при 500°C

Следует отметить, что все регистрируемые критические напряжения $\Delta\sigma^0$, $\Delta\sigma'$ и $\Delta\sigma''$ характеризуют изменения механизмов пластической деформации, то есть имеют определенный физический смысл. Это является весьма важным как для сравнительной оценки свойств сплавов, так и при использовании этих величин для прогнозирования эксплуатационных характеристик сплавов.

Как видно из рис. 1, микроскопическая деформация наиболее заторможена при напряжениях ниже σ_2^0 (напряжение релаксации), выше этого напряжения величина $\Delta\sigma$ (приращение напряжения) начинает интенсивно и непрерывно возрастать с увеличением внешней нагрузки. Это объясняется тем, что в условиях релаксации напряжений при комнатной и несколько выше комнатной температур в металле проходят дислокационно-сдвиговые внутризеренные процессы. Имеет важное значение роль усложненного скольжения в приграничной зоне при микропластической деформации, поскольку начальные стадии пластической деформации во времени проходят преимущественно внутри отдельных зерен.

Непосредственно после приложения внешней нагрузки микропластическая деформация развивается за счет перемещения слабозакрепленных дислокаций (при слабой блокировке) или за счет генерирования новых дислокаций (при сильной блокировке) в местах концентрации напряжений (вблизи границ зерен или других поверхностей раздела). В результате взаимодействия перемещающихся дислокаций между собой или с имеющимися в металле дислокационными сетками в материале наблюдаются структурные изменения.

В приграничных участках отдельных зерен, благоприятно расположенных по отношению к действующему усилию проходят процессы фрагментации с образованием дислокационной структуры с наличием порогов, слабозакрепленных дислокаций, неправильных сеток, отдельных дислокационных скоплений.

По-видимому, процессы перераспределения дислокаций и точечных дефектов при релаксации напряжений имеют определяющее значение. Скорость указанных процессов непрерывно уменьшается во времени. В начальном (первом) и последующем (втором) периодах релаксации напряжений проходят одни и те же элементарные физические процессы. Различие между этими

периодами состоит только в скоростях нарастания остаточной микродеформации, обусловленной главным образом термически активируемыми процессами перераспределения дислокаций.

У сталей с ОЦК – основой характерна независимость параметра $\Delta\sigma_2^0$ от приложенной нагрузки в определенном интервале напряжений. Это означает, что при одинаковом приращении внешней нагрузки ($\Delta\sigma_n$) наблюдается одинаковая величина релаксации напряжений ($\Delta\sigma_2^0$). Поэтому для оценки пригодности стали для изготовления специальных упругих устройств со стабильными свойствами из всех измеряемых параметров микропластической деформации (ПМД) важный интерес представляет σ_2^0 и его приращение $\Delta\sigma_2^0$.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что характерный параметр σ'' фактически соответствует пределу текучести материала.

Вывод

Чем меньше величина $\Delta\sigma_2^0$, тем больше сопротивление стали к микропластическим деформациям, тем меньше изменение микроструктуры под действием различного вида нагрузок и, следовательно, можно ожидать большей стабильности свойств материала. С другой стороны критическое напряжение σ_2^0 должно как можно далее отстоять от максимальных рабочих напряжений ($\sigma_{\text{раб}}$), поскольку даже случайные перегрузки (выше σ_2^0) могут привести к повышенным пластическим деформациям.

Список литературы

1. Дударев Е.Ф. Микропластическая деформация и предел текучести поликристаллов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1988. – 255 с.
2. Игнатович С.Р. Исследование микропластического деформирования при усталости методом склерометрии / С.Р. Игнатович, Д.И. Борисов, И.М. Закиев, С.С. Юцкевич // Авиационно космическая техника и технология. – 2005. – №8 (24). – С. 81–84.
3. Крюков Л.Т., Мадянов С.А. // Прикладные проблемы прочности и пластичности. ННГУ им. Лобачевского. – 1997. – С. 54.
4. Мак-Ивили А. Дж. Анализ аварийных разрушений / пер. с англ. Э.М. Лазарева, И.Ю. Шкадиной; под. ред. Л.Р. Ботвиной. – М.: Техносфера. 2010. – 416 с.
5. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. О корреляции параметров микропластической и циклической деформации при разной термической обработке инструментальной стали // Литейные процессы. – 2012. – № 11. – С. 136–140.
6. Mylnikov V.V., Shetulov D.I., Chernyshov E.A. Influence of the heat treatment of 03H18K9M5T-E {Cyrillic} L {Cyrillic} steel on its microplastic and cyclic deformation // Steel in Translation. – 2013. – Т. 43, № 11. – С. 695–697.