Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

И. Н. Андронов, С. К. Овчинников, С. В. Крючков, Влияние термомеханической тренировки на поведение сплава ТН-1 в условиях проявления циклической памяти формы, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 97–100

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu281>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.210.77.194

26 апреля 2023 г., 17:10:32

ствующих трубопроводов в условиях плосконапряженного состояния по результатам измерений коэрцитиметра КРМ-ЦК-2М, реализующим магнитный метод контроля. Обоснована возможность использования прибора в качестве индикатора при ранжировании трубопроводов и других конструкций по уровню напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков В.Ф., Яценко Т.А., Бахарев М.С. Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений (часть 1) // Дефектоскопия. 2001. Ч1. №11. С. 51-57.
2. Мужичкий В.Ф., Попов Б.Е., Безлюдько Г.Я. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций подъемных сооружений и сосудов, работающих под давлением // Контроль. Диагностика. 2000. № 9. С 48 – 50.
3. Малинин. Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. 400 с.
4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1972. 544 с.

УДК 539.4

И.Н. Андронов, С.К. Овчинников, С.В. Крючков

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА ТН-1 В УСЛОВИЯХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Исследовано влияние предварительной термоциклической тренировки под напряжениями, превышающими действующие, на деформационные характеристики сплава ТН-1 в условиях реализации циклической памяти формы (ЦПФ). Показано, что предварительная термоциклическая тренировка материала под напряжениями, превышающими действующие, приводит к существенному повышению значений деформационных характеристик ЦПФ.

Является установленным фактом, что многие сплавы с обратимыми мартенситными превращениями, например, TiNi, CuMn и др., способны демонстрировать заметное частично или полностью обратимое формоизменение [1-4], если их подвергнуть термоциклированию через интервалы мартенситных переходов в нагруженном состоянии. Причем при нагревании происходит восстановление деформации против действия внешней нагрузки, обозначаемое термином— эффект памяти формы (ЭПФ), а при охлаждении деформация растет в направлении внешней силы, т.е. имеет место эффект пластичности прямого превращения (ППП). В ряде работ показано, что материалы с ЭПФ могут быть использованы в качестве рабочего тела тепловых машин циклического действия [1,6]. Для этого сплавам необходимо сообщить свойства многократно обратимой (циклической) памяти формы (ЦПФ) [1-4]. В выше отмеченных работах показано, что при теплосменах под нагрузками через интервалы мартенситных переходов указанные металлы по истечении некоторого числа термоциклов имеют стабильные, независимые от числа циклов значения деформаций ЭПФ, PPP. Приведенные величины являются деформационными характеристиками ЦПФ. Для управления свойствами ЦПФ необходимо менять силовые режимы термоциклирования. В результате возникает вопрос о влиянии предварительной термоциклической тренировки на свойства ЦПФ в условиях теплосмен под нагрузками. К сожалению, в настоящий момент по данной тематике имеется ограниченный объем публикаций [5].

Систематическое изучение этого вопроса дает возможность понять природу ЦПФ и позволит дать практические рекомендации по использованию материалов данного класса в различных инженерно-технических приложениях.

В качестве объектов исследований использовали сплошные цилиндрические образцы длиной и диаметром рабочей части соответственно 33 и 4 мм, выполненные из сплава ТН – 1 в условиях поставки. Образцы испытывали в режиме кручения.

Опыты осуществляли следующим образом: материал нагружали в мартенситном состоянии механическим моментом M , который создавал во внешнем волокне некоторое напряжение τ и сдвиговую деформацию γ , после чего термоциклировали через интервалы прямых и обратных мартенситных переходов до тех пор, пока характеристики ЦПФ (т.е. деформации, связанные с ЭПФ и PPP) не принимали установившиеся значения. После этого аналогичную проце-

дуру повторяли при более высоких значениях напряжений. Напряжение τ находили в приближении идеально упругого тела, а деформацию γ в предположении гипотезы плоских сечений:

$$\tau = 12M/\pi d^3; \quad (1)$$

$$\gamma = \varphi d/2l, \quad (2)$$

где l и d длина и диаметр рабочей части, а φ угол поворота сечения образца.

Использовали три серии опытов.

1. Термоциклирование через интервалы мартенситных переходов при напряжениях τ , равных 25;50;75;100;125;150;175 МПа.

2. Термоциклирование через интервалы мартенситных переходов при напряжениях τ , равных 25;50;75;100;125;150;175 МПа, после предшествующей “термоциклической тренировки” под напряжением 200 МПа.

3. Термоциклирование через интервалы мартенситных переходов при напряжениях τ , равных 25;50;75;100;125;150;175, 200 МПа, после предшествующей “термоциклической тренировки” под напряжением 250 МПа.

Исследование показало, что при кручении на этапе нагревания наблюдается эффект памяти формы, а на этапе охлаждения эффект пластичности прямого превращения с соответствующими

деформационными откликами γ_n и γ_{nn} . На рис. 1. приведена зависимость деформации от температуры при термоциклировании.

Р и с. 1. График зависимостей между угловой деформацией и температурой при термоциклировании через интервалы прямого и обратного мартенситного переходов для нетренированного образца.

Цифры: 1, 2, 3, 4 соответственно 1-й, 2-й, 13-й и 22-й термоциклы

Из хода кривых видно, что деформация на этапе нагревания восстанавливается, а при охлаждении накапливается в сторону силы. На рис. 2 (кривая 1) представлены зависимости значений деформационных откликов, связанных с ЭПФ и ППП от числа циклов. Из хода кривых видно, что γ_n и γ_{nn} монотонно возрастают с числом термоциклов, достигая насыщения по истечении 10 – 15 циклов.

Р и с. 2. Зависимость деформаций, обусловленных эффектами памяти - γ_n (а) и пластичности прямого превращения - γ_{nn} (б), от числа циклов - N при $\tau = 75$ МПа; 1,2,3 - соответственно не тренированный (1), тренированные при $\tau_{mp} = 200$ МПа (2) и при $\tau_{mp} = 250$ МПа (3) образцы.

Значения γ_n и γ_{nn} монотонно возрастают и при увеличении действующих напряжений (рис. 3). В работе [5] показано, что в марганцемедных сплавах деформации γ_n и γ_{nn} зависят не только от числа циклов и уровня действующих напряжений, но и от предварительной “термоциклической тренировки” под более высокими напряжениями. Указанная закономерность подтверждается и на сплаве ТН – 1, о чем свидетельствует ход кривых 2 и 3 на рис. 2. Из сравнения кривых 1, 2 и 3 видно, что указанная выше предварительная термоциклическая тренировка при

напряжении $\tau_{mp} = 200$ МПа увеличивает значения деформаций γ_n и γ_{nn} для действующих напряжений 75 МПа примерно на 30÷40%, а при $\tau_{mp} = 250$ МПа примерно в 2 раза.

Более отчетливо эффект термоциклической тренировки проиллюстрирован на рис. 4, где по оси абсцисс отложено отношение тренировочного и действующего напряжений τ_{mp}/τ , а по оси ординат величина количественного увеличения деформаций, обусловленных ЭПФ и ППП соответственно $\gamma_{n,mp}/\gamma_n$ и $\gamma_{nn,mp}/\gamma_{nn}$ в результате тренировки. Кривая 2 на рис. 4 показывает, что значения γ_n и γ_{nn} могут быть увеличены посредством термоциклической тренировки более чем в 2 раза.

Р и с. 3. Зависимости установившихся деформаций γ_n (1) и γ_{nn} (2) от действующих напряжений

Р и с. 4. Зависимости отношения установившихся деформаций обусловленных ЭПФ (а) и ППП (б), для тренированных и не тренированных образцов от величины τ_{mp}/τ при $\tau_{mp} = 200$ (1) и 250 МПа (2)

Систематический анализ результатов экспериментов позволяет выявить следующее: основные закономерности поведения сплава ТН-1 при термоциклировании через интервалы мартенситных переходов под нагрузкой качественно совпадают с таковыми для марганцемедных сплавов [1–5]. А именно, при термоциклировании материала через интервалы мартенситных переходов в нагруженном состоянии реализуется эффект ЦПФ.

Предварительная термоциклическая тренировка материала под напряжениями, превышающими действующие (эксплуатационные), приводит к существенному повышению значений деформационных характеристик ЦПФ. Приведенные выше экспериментальные факты могут лечь в основу феноменологического описания (в рамках механики деформируемого твердого тела) поведения материалов в условиях проявления ЦПФ. В частности, характеристики ЦПФ реализуемой после термоциклической тренировки могут быть найдены через аналогичные характеристики не тренированного материала следующим образом:

$$\gamma_{mp} = \gamma \cdot K, \quad (3)$$

где $K = K(\tau_{mp}, \tau_{mp}/\tau)$ находится из эмпирических кривых на рис. 4 как отношение $\gamma_{n,mp}/\gamma_n$ (или $\gamma_{nn,mp}/\gamma_{nn}$).

Данный результат может быть использован при проектировании и разработке исполнительных механизмов и элементов многоразового действия в конструкциях из материалов с ЭПФ.

В заключении отметим, что систематическое исследование влияния термоциклической предыстории на физико-механическое поведение металлов позволит разработать научно-обоснованные методы технологии производства материалов данного класса с повышенными эксплуатационными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Пробл. прочности. 1983. № 11. С. 23- 26.
2. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1983. №3. С. 84-88
3. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Металлофизика. 1984. Т. 6, № 3. С. 44–47.
4. Андронов И.Н., Лихачев В.А. // Пробл. прочности. 1987. № 2. С. 50 – 54
5. Андронов И.Н., Лихачев В.А. // Известия вузов. Цветная металлургия. 1986. № 2. С. 97 – 102.
6. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Северова Н.А. Закономерности поведения никелида титана в условиях производства механической работы // Современные вопросы физики материалов. Материалы XXXII семинара “Актуальные проблемы прочности”, посвященного памяти В.А.Лихачева. 12-14 ноября 1996. С. – Петербург: Дом ученых им. М. Горького РАН, 1997. С. 178 -182.

УДК 669.14

Б.К. Барахтин, Р.Г. Зворыгин

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ БЕЙНИТО-МАРТЕНСИТНЫХ ФАЗ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРУКТУР СТАЛЕЙ

Описана методика компьютерной обработки и мультифрактального анализа изображений структур сталей. Приведены модели бейнито-мартенситных фаз в виде регулярных фракталов.

Известно, что в зависимости от химического состава и условий технологической обработки стальных листов в их поперечных сечениях реально возникновение нежелательной анизотропии внутреннего строения и свойств [1]. В толстых (более 50мм) листах одной партии проката можно обнаружить набор структур из феррито-перлитных или бейнито-мартенситных фаз. Объемное содержание и морфология фаз определяются кинетикой превращений как итог конкурентной борьбы движущих термодинамических сил с сопротивлением упругопластической аккомодации. В результате в стальном прокате формируется сложная и неоднородная структура, для аттестации которой традиционные геометрические параметры (длина, ширина) не поддаются надежному определению и мало эффективны. Между тем, наличие упорядоченности в расположении фаз указывает на реализацию процессов структурообразования в условиях самоорганизации, характерных для неравновесных физических сред с нелинейными свойствами.

В последние годы в материаловедении для анализа сложных и неравновесных структур используется метод мультифрактальной параметризации [2]. Мультифракталы, как информационные элементы, характеризуют процессы структурных перестроений, происходящих под действием внешних условий. Выходные данные мультифрактального анализа, получаемые из спектра обобщенных размерностей Реньи, имеют вполне определенный физический смысл. Например, D_0 – пространственная размерность однородного (базового) фрактала; D_1 – информационная размерность, характеризующая скорость роста количества информации; величина $\Delta q = D_1 - D_q$, указывает на предел нарушения симметрии при самоорганизации двумерных множеств. Однако без рассмотрения всего спектра размерностей использование только значений этих величин недостаточно для простого и доступного представления изменений, происходящих в структуре реального материала.

Цель настоящей работы состояла в построении наглядных геометрических моделей структур распространенных сталей, дополняющих результаты мультифрактального анализа. Актуальность поставленной задачи дополняется тем обстоятельством, что диапазон изменения значений мультифрактальных параметров невелик.

Выбор методики исследования. Эксперименты выполнены с образцами феррито-перлитной (09Г2ФБ) и бейнито-мартенситной (10ХН2МД) сталей, произведенных в промышленных условиях по штатному циклу термомеханической обработки (ТМО) с закалкой и отпуском. Металлографические пробы отбирались из срединных и приповерхностных слоев листов толщиной 10 -50 мм.

Выявление и документирование внутреннего строения металла выполнено с помощью светового микроскопа «Неофот». Все полутоновые изображения структур, полученные при