Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

М. Н. Коновалов, Г. П. Дроздовский, Расчет реактивных усилий и напряжений в системе, состоящей из трубки с ЭПФ и упругого контртела, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 134–137

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu290>

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: 54.166.219.16

26 апреля 2023 г., 13:42:09

при последующем охлаждении имеющиеся в материале дислокации становятся заблокированными. Скорость накопления микродеформации даже при высоких максимальных напряжениях цикла сравнительно невысока. Наличие СМК структуры снижает эффективность возникающих в процессе деформации концентраторов напряжений, что обеспечивает их релаксацию за счет дислокаций. Когда в материале на определенном этапе возникают дефекты с линейными размерами, превышающими размер элементов СМК структуры, например, полосы локализации, то релаксация концентраторов напряжений происходит за счет образования трещины. Повидимому, сильная анизотропия свойств в ГПУ структуре титана приводит к тому, что уже первая зародившаяся трещина становится магистральной. Возникающие в голове трещины напряжения определяют более интенсивное развитие пластической деформации и образование вторичных трещин вдоль траектории её распространения. К сожалению, полученные результаты не позволяют однозначно утверждать, что именно мезополосы локализованной деформации являются причиной образования трещины.

Таким образом, получены следующие результаты.

1. Формирование субмикроструктурного состояния в титане технической чистоты методом равноканального углового прессования приводит к улучшению размерной стабильности материала при квазистатическом и циклическом нагружении. Предел выносливости при этом повышается почти в 1,5 раза по сравнению с крупнозернистым титаном.

2. При знакопостоянном циклическом изгибе формированию магистральной трещины предшествует микропластическая деформация, обусловленная эволюцией дислокационной субструктуры.

3. Вблизи области распространения магистральной усталостной трещины процессы пластической деформации развиваются наиболее интенсивно, однако по имеющимся данным нельзя однозначно сказать, происходит ли локализация деформации до образования магистральной трещины, или же это является процессом, сопутствующим распространению трещины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
2. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. Под ред. Ю.Р. Колобова и Р.З. Валиева. Новосибирск: Наука, 2001. 232 с.
3. Цвиккер У. Титан и его сплавы. М.: Металлургия, 1979. 512 с.
4. Дударев Е.Ф., Кашин О.А., Колобов Ю.Р., Почивалова Г.П., Иванов К.В., Валиев Р.З. Микропластическая деформация поликристаллического и субмикроструктурного титана при статическом и циклическом нагружении // Изв. вузов. Физика. 1998. №12. С. 20-25.
5. Дударев Е.Ф. Микропластическая деформация и предел текучести поликристаллов. Томск: Изд-во Томского университета, 1988. 256 с.
6. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973. 384 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (грант №2398) и ИНТАС (грант №01-320).

УДК 539.3.621.499

М.Н. Коновалов, Г.П. Дроздовский

РАСЧЕТ РЕАКТИВНЫХ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ТРУБКИ С ЭПФ И УПРУГОГО КОНТРЕЛА

Разработана методика расчета реактивных напряжений и усилий, генерируемых в системе, состоящей из трубки с ЭПФ и упругого контртела, выполненного в виде витой пружины, функционирующей при обратимых мартенситных переходах. В основу способа положены классические методы сопротивления материалов в сочетании с представлениями об обратимом характере изменения фазы и деформации при обратимых мартенситных переходах.

Хорошо известно, что материалам с эффектом памяти формы (ЭПФ) можно сообщить способность к многократно обратимому формоизменению путем термоциклирования через интервалы мартенситных переходов в нагруженном состоянии [1–3]. В дальнейшем эффект многократно обратимой (циклической) памяти формы (ЦПФ) может быть реализован как в нагруженном, так и разгруженном состояниях. В данной работе рассмотрен случай, когда внешнее воздействие на рабочее тело из материала с ЭПФ воссоздается за счет линейно-упругого эле-

мента [4,5]. В этом случае эффект ЦПФ, реализуемый в процессе термоциклирования, неизбежно приведет к генерации напряжений и усилий в элементах. На рис. 1 приведена расчетная схема нагружения, где схематически представлены трубка из материала с ЭПФ, играющая роль рабочего тела $T_э$, и пружина Π_0 (пружина с линейно упругими свойствами, выполняющая роль упругого контртела), заневоленные между двумя жесткими заделками. Здесь D_1 и D_2 – внешний и внутренний диаметры трубки, а l её длина; D_0, d_0, n_0 – стандартные параметры линейно-упругой пружины; G – модуль сдвига материала, из которого сделана Π_0 – линейно упругая пружина (упругое контртело). Предполагается, что пружина имеет малый угол наклона витков $b \ll 1$; это позволяет считать, что пространственный стержень, образующий пружину, находится при функционировании в условиях кручения.

В исходном состоянии трубку $T_э$ подвергают предварительному термоциклированию через интервалы мартенситных переходов под действием постоянной фиксированной нагрузки, что сообщает ей свойство ЦПФ. В дальнейшем $T_э$ заневоливают, согласно расчетной схемы на рис.1, и продолжают термоциклирование. В трубке $T_э$ по-прежнему будет иметь место эффект ЦПФ, амплитуда деформационного отклика ε_p которого будет зависеть от жесткости противодействия пружины.

Р и с. 1. Расчетная статически неопределимая схема, состоящая из трубки и пружины, заневоленных между двумя жесткими заделками. $T_э$ – трубка с ЭПФ (рабочее тело).

Жесткость противодействия K_1 трубки $T_э$ и пружины Π_0 находится из соотношения

$$K_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где σ и ε нормальное напряжение и осевая деформация в произвольном поперечном сечении трубки $T_э$, которые, очевидно, могут быть найдены по гипотезе плоских сечений по формулам сопротивления материалов [6]:

$$\sigma = \frac{4N}{\pi(D_1^2 - D_2^2)}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\lambda}{l}, \quad (2)$$

где Δl – осевое перемещение трубки, равное упругой податливости пружины λ ; N – величина осевой силы. Очевидно, что жесткость пружины K и её податливость связаны соотношением $\lambda = \frac{N}{K}$. Из курса сопротивления материалов [6] известно, что податливость упругой пружины равна:

$$\lambda = \frac{8ND_0^3n_0}{Gd_0^4}. \quad (3)$$

Откуда из (1),(2) и (3) имеем:

$$K_1 = \frac{Gd_0^4l}{2\pi(D_2^2 - D_1^2)D_0^3n_0}.$$

В работах [7,8] показано, что материалы с ЭПФ могут демонстрировать значительное число термоциклов в условиях противодействия упругого контртела. Результаты работы [4] свидетельствуют о том, что величины реактивных напряжений и деформаций, реализуемых за счет ЭПФ, зависят от жесткости противодействия упругого контртела. Причем, если жесткость противодействия упругого контртела стремится к бесконечности (на рис. 1 этому предельному переходу соответствует замена пружины Π_0 на жесткую заделку), нормальное напряжение стремится к максимально возможному значению $\sigma_{\max}$, а соответствующий деформационный отклик ε будет равен нулю. И, наоборот, если $K_1 = 0$ (этому отвечает реализация ЭПФ в свободном состоянии), деформационный отклик принимает максимальное значение $\varepsilon_{\max}$ при σ равном нулю. При варьировании K_1 от нуля до бесконечности, деформационный отклик ε изменяется от $\varepsilon_{\max}$ до нуля, а напряжение σ от нуля до $\sigma_{\max}$. Согласно экспериментальным данным работы

[4] изменению значений K_1 в вышеуказанных пределах отвечает геометрическое место точек в пространстве $y - \epsilon$ в первом приближении аппроксимируемое нисходящей прямой. Сказанное схематически представлено на $y - \epsilon$ диаграмме на рис. 2, где по оси абсцисс отложена амплитуда обратимой деформации, а по оси ординат соответствующий уровень реактивных напряжений. Здесь величина $\sigma_{\max}$ показывает максимально возможный уровень генерируемых напряжений, отвечающих бесконечной жесткости противодействия упругого контртела; $\epsilon_{\max}$ – величина деформации, обусловленной ЭПФ в свободном состоянии после термоциклирования под нагрузкой. Величины $\sigma_{\max}$ и $\epsilon_{\max}$ определяются экспериментально и, наряду с модулем сдвига G , являются базовыми механическими параметрами задачи. Прямая $y = K_1 \epsilon$ является линией постоянной жесткости противодействия. Величины рабочих напряжений и деформаций σ_p и ϵ_p в трубке с ЭПФ находятся как координаты точки пересечения нисходящей прямой $\sigma_{\max} \rightarrow \epsilon_{\max}$ и прямой постоянной жесткости противодействия $\sigma = K_1 \epsilon$, т.е. из геометрических соотношений, следующих соотношений:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{\max}}{\left(1 + \frac{\sigma_{\max}}{K_1 \epsilon_{\max}}\right)}, \quad \epsilon_p = \frac{\sigma_{\max}}{\left(K_1 + \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon_{\max}}\right)}.$$

Соответствующую осевую силу N в трубке определяем по формуле

$$N = \frac{\sigma_p \pi (D_1^2 - D_2^2)}{4}.$$

Нормальные напряжения в произвольном поперечном сечении трубки $\sigma(T)$ легко отыскиваются как функция от температуры, если пренебречь смещением температур, вызываемым мартенситной реакцией в соответствии с соотношением Клаузиуса-Клапейрона [9]

$$y(T) = y_p \left\{ \begin{aligned} &H(\dot{T}) \cdot \left[H(A_K - T) \cdot H(T - A_H) \cdot \frac{1}{2} \left(1 - \cos p \cdot \frac{T - A_H}{A_K - A_H} \right) + \hat{H}(T - A_K) \right] + \\ &+ H(-\dot{T}) \cdot \left[H(T - M_K) \cdot H(M_H - T) \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \cos p \cdot \frac{M_H - T}{M_H - M_K} \right) + \hat{H}(T - M_H) \right] \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где точка означает производную по времени; M_H, M_K, A_H, A_K – характеристические температуры мартенситных переходов; $H(x)$ и $\hat{H}(x)$ функции Хевисайда:

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0; \end{cases} \quad \hat{H}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

На рис.3 схематически представлены зависимости реактивных напряжений $\sigma(T)$, генери-

Р и с. 2. Схема расчета рабочих напряжений σ_p и деформаций ϵ_p

Р и с. 3. Зависимость реактивных напряжений от температуры при термоциклировании через интервалы мартенситных переходов

руемых в конструкции, расчетная схема которой приведена на рис. 1. Понятно, что предложенная методика может быть обобщена и с учетом влияния напряжений на характеристические температуры мартенситных переходов, согласно соотношения Клаузиуса-Клапейрона (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Проблемы прочности. 1983. № 11. С. 23 – 26.
2. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. Металлофизика // 1984. Т.6. № 3. С. 44-47.
3. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Власов В.П., Северова Н.А. Влияние вида напряженного состояния на характер работоспособности никелида титана в условиях производства механической работы // Современные проблемы прочности. Научные труды II Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 1998. Т.2. С. 198 -200.
4. Андронов И.Н., Гуревич А.С., Лихачев В.А., Недбаев П.И. Явление многократно-обратимой памяти формы и реактивные напряжения в сплаве ТН-1 // Актуальные проблемы прочности. Материалы XXIV Всесоюзного семинара. Днепропетровск: ДХТИ, 1990. С. 147-148.
5. Андронов И.Н., Гуревич А.С., Пелепюк В.В. Устройство для герметизации межтрубного пространства скважин. Пат. №1506075 СССР: МКИ Е 21 В 33 / 12. Заявка № 4347109/ 23 – 03. Заявл.16.07.82. Оpubл. 07.09.89 г. Бюл. 1989. №33. С. 142. УДК 621. 79. (088.8).
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука. 1972. 544 с.
7. Хусаинов М. А., Ефремов С.В. Исследование работоспособности термореле // Современные проблемы прочности. Научные труды III Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 1999. Т.2. С. 190 - 194.
8. Хусаинов М. А., Ефремов С.В. Исследование функциональных свойств спирали с памятью формы при наличии пружины смещения // Современные проблемы прочности. Научные труды IV Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 2000. Т.2. С. 249 - 251.
9. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно - аналитическая теория прочности. Санкт-Петербург: СПГУ. 1993. 471с.

УДК 539.21

А.С. Красников, Л.И. Миркин

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, МИКРОСТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИКИ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ ОБЛУЧЕНИЯ

Исследовано влияние лазерного облучения на фазовый состав, микроструктуру, механические и диэлектрические свойства стеклокристаллических материалов и керамики. Показано, что воздействие лазерного облучения на стеклокристаллические материалы приводит к аморфизации структуры, снижению микротвердости, образованию микротрещин, а также к изменению их оптических, диэлектрических и химических свойств.

В работах [1,2] показано, что при действии излучения с плотностью потока $q = 10^6 \div 10^8 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ и с длительностью импульса $\tau = 10^{-3} / 10^{-9} \text{ с}$, механизмы удаления вещества в лазерных экспериментах нельзя считать к настоящему времени установленными в такой степени, чтобы однозначно предсказать не только результат воздействия излучения, но и фазовый состав продуктов выброса. Изучение этого вопроса крайне важно еще и потому, что лучи лазера находят широкое применение в технологии получения изделий из керамики, поэтому нахождение оптимальных режимов облучения позволяет решить задачу о повышении процента выхода годных изделий. Особый интерес представляет изучение механизма взаимодействия лазерного излучения умеренных плотностей потока мощности ($q < 10^6 \text{ Вт/см}^2$) с длительностью импульса ($\tau = 60 \text{ нс} - 400 \text{ мкс}$) с СКМ и керамикой. Это связано с тем, что в лазерной технологии такие потоки мощности используются для проведения целого ряда технологических операций (пайки, скрайбирования, прошивки отверстия и т.д.).

При действии лазерного луча на вещество в нем могут протекать тепловые, механические, электрические и другие процессы [3]. При взаимодействии лазерного излучения умеренного потока мощности со стеклокристаллическим материалом следует ожидать фазовых переходов первого рода, которые могут приводить к изменению содержания аморфной и кристаллической фаз в зоне действия луча лазера. Актуальным также является вопрос исследования микроструктуры облученного материала и ее влияние на механические свойства керамики. Нагревание материалов с высокими скоростями должно вызывать изменение фазового состава, появление