

05; 12

© 1992

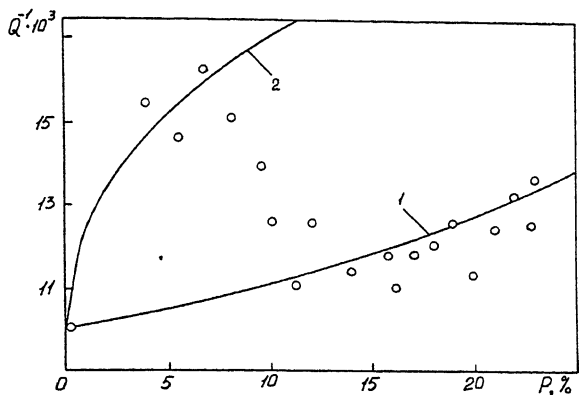
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ  
ПОРИСТОГО ЖЕЛЕЗА

В.В. Поляков, А.Н. Алексеев

Разработка новых материалов, предназначенных для использования в переменных механических полях, требует изучения их релаксационных свойств и демпфирующих способностей. В случае пористых металлов, обладающих резко неоднородной структурой, соответствующие зависимости имеют особенно сложный и малоизученный характер. При анализе механизмов диссипации энергии механических колебаний эффективен метод внутреннего трения. В настоящей работе с помощью данного метода исследованы особенности релаксационного поведения пористого железа.

Измерения величины внутреннего трения  $Q^{-1}$  проводились на установке, работающей по принципу крутильного маятника, путем регистрации затухания свободных колебаний [1], частота  $f$  которых составляла 60 Гц. Образцы в виде стержней размером 2x2x x 65 мм изготавливались из железного порошка ПЖРВ2 с чистотой не менее 99.5%. Ее путем прессования до требуемой плотности и последующего спекания в вакууме при 1520 К. Значения пористости  $P$ , равной объемной доле пустот, задавались в интервале от 4 до 30%. Результаты измерений в виде зависимости  $Q^{-1}(P)$  приведены на рисунке. В качестве величины  $Q_k^{-1}$  компактного материала использовалось значение  $Q_k^{-1} = 10.2 \cdot 10^{-3}$ , полученное для литого армко-железа. В интервале пористости выше 12% происходил монотонный рост внутреннего трения, обусловленный затуханием механических колебаний вследствие увеличения дефектности структуры. Однако при более низких значениях  $P$  отмечалось аномальное поведение, проявлявшееся в виде максимума на экспериментальной зависимости при  $P \sim 5-7\%$ . Происхождение пика, по-видимому, может быть объяснено возрастанием вклада зернограничной релаксации. Возникающие на межзеренных границах сдвиговые напряжения могут релаксировать путем скольжения по границам соседних зерен [2]. В случае скачкообразного изменения деформации зернограничного проскальзывания такая релаксация проявляется в виде максимума на кривой  $Q^{-1}(P)$ . Таким образом, наблюдавшийся пик внутреннего трения может свидетельствовать о смене доминирующих механизмов релаксации напряжений при изменении пористости. При этом величина  $P$  выступает в качестве параметра, аналогичного температуре в традиционных испытаниях.

Для анализа выявленного пика существенно, что по данным ряда работ [3-5] некоторые физические характеристики ведут себя



Зависимость внутреннего трения железа от пористости.

с изменением пористости немонотонно. Так, трещиностойкость  $K_{1C}$  спеченного железа при  $P \sim 5-10\%$  и низких температурах имеет максимум [3], который интерпретировался как вызванных хрупко-вязким переходом. В [4] описана особая точка на кривой  $K_{1C}$  при пористости около 4%. В [5] был обнаружен максимум средней амплитуды и числа событий акустической эмиссии. Отметим, что корреляция данных [3] и настоящих измерений могла быть вызвана установленным в [6] наличием максимума внутреннего трения в условиях хрупко-вязкого перехода.

При оценке зависимости внутреннего трения от пористости была использована реологическая модель вязкоупругой среды [1]. Согласно этой модели, величина  $Q^{-1}$  может быть выражена через коэффициент сдвиговой вязкости  $\eta$  и модуль сдвига  $\mu$  пористого тела:

$$Q^{-1} = Q_K^{-1} \frac{\eta/\eta_K}{\mu/\mu_K}, \quad (1)$$

где  $Q_K^{-1}$ ,  $\eta_K$ ,  $\mu_K$  - соответственно внутреннее трение, коэффициент вязкости и модуль сдвига в состоянии  $P=0$ . Для оценки относительных величин  $\eta/\eta_K$  применялось выражение [7]

$$\eta/\eta_K = (1-P)^{5/3}. \quad (2)$$

Для модулей  $\mu/\mu_K$  привлекалась аналогичная формула [8]

$$\mu/\mu_K = (1-P)^{8/3}. \quad (3)$$

На основе выражений (1)-(3) были проведены расчеты зависимости  $Q^{-1}(P)$ . Результаты вычислений, приведенные на рисунке в виде кривой 1, отражают монотонное увеличение внутреннего трения

при росте пористости и согласуются с опытными данными вне интервала аномального поведения.

Описание аномального участка кривой  $Q^{-1}(P)$  проводилось на основе предложенного релаксационного механизма образования пика. Внутреннее трение  $Q^{-1} = (2\pi f \tau)^{-1}$  находилось с помощью выражения для времени зернограничной релаксации [2]

$$\tau = \frac{d \eta_s}{\mu h}, \quad (4)$$

где  $d$  – средний размер зерна,  $\mu$  – модуль сдвига,  $\eta_s$  и  $h$  – коэффициент вязкости межзеренной границы и ее толщина соответственно. При оценке зависимостей от пористости величин  $\eta_s$  и  $\mu$  использовались уравнения (2) и (3). Полагая значения  $h$  постоянным и выражая размер зерна  $d$  по структурной модели [9] через пористость  $P$ , получали соотношение

$$Q^{-1} = Q_K^{-1} \frac{1-P}{1-P^{1/3}}. \quad (5)$$

Результаты расчетов по формуле (5) приведены на рисунке в виде кривой 2. Наблюдаемое согласие с максимумом на опытной зависимости  $Q^{-1}(P)$  подтверждает обоснованность предложенного подхода к описанию аномальной зависимости внутреннего трения железа от пористости.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1974. 359 с.
- [2] Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. М.: Атомиздат, 1975. 472 с.
- [3] Фирстов С.А., Подрезов Ю.Н., Жердин А.Г., Штыка Л.Г., Пиоро Э.Ч., Головкова М.Е., Пиоро Н.Ч. // Порошковая металлургия. 1988. В. 1. С. 69-73.
- [4] Анциферов В.Н., Пещеренко С.Н., Шацов А.А., Масленников Н.Н. // Проблемы прочности. 1989. В. 2. С. 20-22.
- [5] Баскин Б.Л., Иващенко Р.К., Лексовский А.М., Мильман Ю.В., Москаленко Н.П. Сб. науч. тр. „Технологическая и конструкционная пластичность порошковых материалов“. Киев: ИПМ АН УССР, 1988. С. 93-97.
- [6] Галкин А.А., Дацко О.И., Варюхин В.Н., Дегтярь Е.П., Реутская Л.А. Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах. М.: Наука, 1982. С. 86-88.

- [7] С к о р о х о д В.В. Реологические основы теории спекания. Киев: Наукова думка, 1972. 151 с.
- [8] S y t e r m a n n R. Contiguity and properties of porous materials. *Fragm., Form and Flow Frakt, Media: Proc. of 3-Conf., Neve Han, 1986. Bristol, 1986. P. 458-472.*
- [9] Поляков В.В., Утемесов М.А., Бондарчук Т.В., Шейда А.П. // Тр. УШ Всесоюзн. конф. „Теплофизические свойства веществ“. Ч. П. Новосибирск, 1989. С. 267-271.

Алтайский  
государственный  
университет,  
Барнаул

Поступило в Редакцию  
7 апреля 1992 г.