

УДК 620.182.186:519.24

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТАЛИ

© 2011 г.

А.М. Реков, В.Т. Корниенко, Э.О. Корниенко

Филиал Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина, Первоуральск

arekov@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Установлены параметры статистических законов распределения полей микро- и субмикродоформаций материала с кубической решеткой при одноосном растяжении образцов до остаточных пластических деформаций, равных 6 и 10%. Компоненты тензора пластических деформаций и их статистики определены для массивов зерен и в плоскости ряда отдельных зерен. Рассчитаны интенсивности главных микро- и субмикродоформаций. С помощью аппликат нормированных автокорреляционных функций выполнена оценка уровня функциональной связи между деформациями отдельных объемов внутри зерен материала. Построены одномерные и двухточечные законы распределения микро- и субмикродоформаций. Определены показатели напряженно-деформированных состояний элементов структуры (зерен) поликристалла.

Ключевые слова: законы распределения, тензор пластических деформаций, напряженно-деформированное состояние микроструктуры, зерна поликристаллов, статистический анализ.

Методика эксперимента

Исследования проведены методом малобазных делительных сеток, которые наносятся фотоспособом на поверхность образцов [1]. Для определения микродоформаций размер стороны ячейки делительной сетки принимали соизмеримым со средним размером зерна материала образцов, составляющим 50 мкм. Для оценки деформаций внутри зерен (субмикродоформаций) размер стороны ячейки сетки составлял 10 мкм. В поле образца выбирали большие зерна так, чтобы измеряемый массив был достаточно представительным (20×20 ячеек). В ходе экспериментов учитывали ориентацию зерен относительно оси растяжения образца [2].

Материал исследования – коррозионноустойчивая сталь X18H10T. Для укрупнения зерна образцы отжигали при температуре 1000 °С. Границы аустенитных зерен выявляли травлением в стандартных растворах. Растяжение образцов проводили до остаточных пластических деформаций, равных 5.6 и 9.8% (продольные деформации в исследуемых зернах при этом составляли 3.7–11.8%). Фотографии увеличенных под микроскопом участков поверхности образца с помощью сканера переводили в растровое изображение. На рис. 1, 2 приведены соответственно микрополе и субмикрорполе (деформация 5.6%). Реперными точками на рисунках отмечены массивы измеряемых ячеек.

Измерения координат узлов исходных и деформированных делительных сеток проводили на

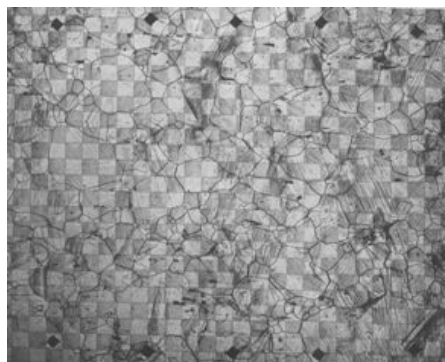


Рис. 1

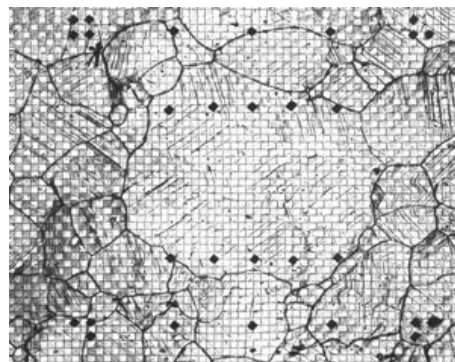


Рис. 2

графическом экране системы AUTOCAD. Масштаб изображения выбирали таким, чтобы средний размер стороны ячейки делительной сетки составлял около 20 мм. Запись результатов измерения в текстовые файлы с целью дальнейшей их обработки проводили по программе, написанной на языке AUTOLISP [3].

Напряженное состояние количественно характеризуется интенсивностью главных микро- и субмикродоформаций [1]:

$$\varepsilon_u^2 = \frac{2}{9} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \quad (1)$$

и их коэффициентом Надаи–Лоде:

$$\chi = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ главные микро- и субмикродоформации.

По результатам измерений рассчитывали деформации ячеек сетки в плоскости образца: продольные (в направлении оси растяжения) – ε_{11} , поперечные ε_{22} и сдвиговые ε_{12} . С их помощью вычисляли главные микродоформации:

$$\varepsilon_{1,2} = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} \pm \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + \varepsilon_{12}^2}.$$

Деформацию ε_3 находили из условия несжимаемости микрообъема $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$.

Основные результаты

Экспериментальные законы распределения микродоформаций хорошо согласуются с нормальным распределением Гаусса, а для субмикродоформаций законы распределения отличаются от нормального закона – величины коэффициента асимметрии и эксцесса выходят за пределы своих утроенных основных ошибок. На рис. 3, 4 представлены соответственно плотности распределения интенсивностей субмикродоформаций и плотности распределения случайных коэффициентов Надаи–Лоде при продольных деформациях: кривая 1 – 3.74%; кривая 2 – 7.32%.

Напряженно-деформированные состояния объемов металла внутри отдельного зерна существенно различаются от одноосного растяжения, при котором проводилось испытание образцов. Только относительно небольшая доля таких объемов (20–30%) испытывает напряженно-деформированные состояния, соответствующие значению параметра Надаи–Лоде $\chi = -1$. Остальные субмикродообъемы металла находятся в промежуточных состояниях от одноосного растяжения до чистого сдвига ($\chi = 0$), могут испытывать одноосное сжатие ($\chi = 1$) (см. рис. 4).

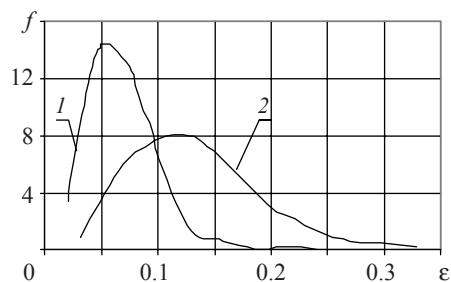


Рис. 3

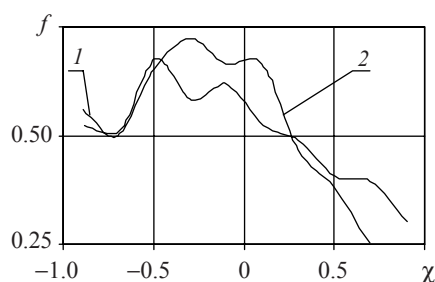


Рис. 4

Поля субмикродоформаций являются анизотропными – сечения нормированных автокорреляционных функций различны в ортогональных направлениях относительно оси растяжения образцов (рис. 5, на котором изображены корреляционные функции субмикродоформаций: кривая 1 – вдоль; кривая 2 – поперек оси растяжения). Установлено влияние на корреляционные функции различной ориентации зерен относительно оси растяжения образца.

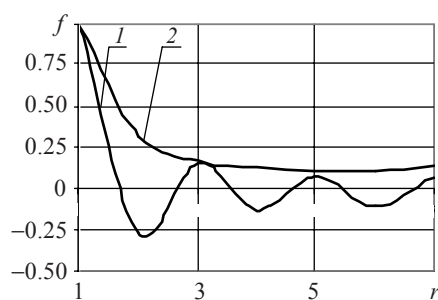


Рис. 5

Список литературы

1. Вайнштейн А.А., Алехин А.Н. Основы теории упругости и пластичности с учетом неоднородности материала. УГТУ–УПИ, 2004. 236 с.
2. Вайнштейн А.А. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1990. №6. С. 63–64.
3. Реков А.М., Корниенко В.Т., Корниенко Э.О. // Наука и технологии: Крат. сообщ. XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. Т. 1. С. 179–181.

**LAWS OF DISTRIBUTION OF DEFORMATIONS AND INDICATORS
OF THE STRESSED-STRAINED STATES OF STRUCTURAL COMPONENTS OF A STEEL**

A.M. Rekov, V.N. Kornienko, E.O. Kornienko

Parameters of statistical laws of field distribution of micro- and sub-microdeformations of a material with a cubic lattice in samples under uniaxial tension up to the residual plastic deformations of 6 and 10% are determined. Components of the tensor of plastic deformations and their statistics are determined for bulks of grains and in a plane of a number of separate grains. The intensity of the main micro- and sub-microdeformations is calculated. Using applicates of normalized autocorrelation functions, the level of functional relation between deformations of separate bulks in the material grains is estimated. One-dimensional and two-point distribution laws of micro- and sub-microdeformations are constructed. Indicators of the stressed-strained states of elements of structure (grains) of a polycrystalline are determined.

Keywords: distribution laws, tensor of plastic deformations, stressed-strained state of a microstructure, grain of a polycrystalline, statistical analysis.