

УДК 51-53

ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ С ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ ПЛОТНОУПАКОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКОЙ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗРУШЕНИЯ

Богданов Е.П., Шкода И.А.

*Волгоградский кооперативный институт (филиал)
Российского университета кооперации, Волгоград
Камышинский технологический институт (филиал)
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»*

Проведена оценка полученных в работе форм поверхностей разрушения для поликристаллов с гексагональной плотноупакованной решёткой. Использован статистический критерий ориентированного разрушения. Показаны статистические закономерности распределения микронапряжений в поликристаллах с гексагональной плотноупакованной решёткой.

Ключевые слова: статистический критерий прочности, поверхность разрушения, гексагональная плотноупакованная решётка.

В работе рассмотрены особенности формирования поверхностей разрушения для поликристаллов с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) кристаллической решёткой для статистического критерия ориентированного разрушения [1,2]. При его получении предполагалось, что микротрещины возникают на площадках ортогональных σ_1 . Использован

локальный критерий прочности $\xi_{11} \leq \xi_c$, что является приемлемой гипотезой, когда зёрна обладают малой прочностной анизотропией. Например, когда кристаллы не имеют особых плоскостей спайности (отдельности) или, напротив, имеют большое число таких плоскостей. Условие ориентированного разрушения имеет вид:

$$\chi_q \sqrt{P\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2Q(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3) + 2F\sigma_2\sigma_3} + (1 - \chi_q \sqrt{P})\sigma_1 = \sigma_p \quad (1)$$

где $\chi_q = \frac{\sigma_p}{\sigma_c}$, а σ_p, σ_c - истинные разрушающие напряжения при растяжении и сжатии,

$$P = \frac{D(\bar{\xi}_{11}^1)}{D(\bar{\xi}_{11}^2)}, Q = \frac{\text{cov}_{12}(\bar{\xi}_{11}^1, \bar{\xi}_{11}^2)}{D(\bar{\xi}_{11}^2)}, F = \frac{\text{cov}_{23}(\bar{\xi}_{11}^2, \bar{\xi}_{11}^3)}{D(\bar{\xi}_{11}^2)}.$$

Здесь $D(\bar{\xi}_{11}^k)$ дисперсии, $\text{cov}_{km}(\bar{\xi}_{11}^k, \bar{\xi}_{11}^m) = \langle \bar{\xi}_{11}^k \bar{\xi}_{11}^m \rangle - \langle \bar{\xi}_{11}^k \rangle \langle \bar{\xi}_{11}^m \rangle$ ковариации микронапряжений $\bar{\xi}_{11}^k$, коллинеарных главному макроскопическому напряжению σ_1 . На χ_q накладывается ограничение $\chi_p < \frac{1}{\sqrt{P}}$, которое следует из физических предпосылок рассматриваемого критерия, а именно: локальная прочность ξ_c не может быть отрицательной. Для поликристаллов с кубической кристаллической решёткой параметры P, Q, F, определённые на модели поликристалла с использованием гипотезы Фойгта об однородности деформаций, являются константами P=16/9, Q=-8/9, F=-1/9. Расчёт микронапряжений на модели поликристалла методом конечных элементов для этих материалов [1] дал сравнительно узкий интервал значений P, Q и F, что позволило представить рассматриваемый критерий в более компактной форме [2], включающей в себя только два структурно-чувствительных параметра σ_p, σ_c .

Однако, как показали проведённые расчёты для поликристаллов с ГПУ решёткой, величины параметров P, Q, F и, следовательно, коэффициенты корреляции для различных материалов резко отличаются. Это связано с тем, что упругие свойства зёрен у них обладают меньшей симметрией свойств по сравнению с кубическими.

Микронапряжения $\bar{\xi}_{11}^k$ (k=1, 2, 3) определяются на модели поликристалла при использовании гипотезы Фойгта при рассмотрении трёх одноосных растяжений под действием главных единичных макроскопических напряжений σ_k , а затем вычисляются дисперсии и ковариации [3].

В работе [3] показано существенное отличие закономерностей изменения дисперсий нормальных напряжений, отнесённых к главному макроскопическому $D(\frac{\xi_{11}}{\sigma_1})$, в зависимости от вида напряжённого состояния для ряда ГПУ - поликристаллов.

Покажем, как это сказывается на форме поверхности разрушения на примере критерия (1). В силу квазиизотропности поликристалла $D(\bar{\xi}_{11}^2) = D(\bar{\xi}_{11}^3)$, поэтому параметр $F = \rho_{23}(\bar{\xi}_{11}^2, \bar{\xi}_{11}^3)$. Легко показать, что $\rho_{12}(\bar{\xi}_{11}^1, \bar{\xi}_{11}^2) = Q/\sqrt{P}$. Здесь ρ_{12} и ρ_{23} коэффициенты корреляции $\bar{\xi}_{11}^k$. В таблице 1 приведены результаты расчёта P, Q, F и ρ_{12} и ρ_{23} для ряда материалов с ГПУ решёткой с использованием гипотезы Фойгта. Кроме того, там для $\chi < \chi_{\max}$ даны результаты расчёта по критерию (1) относительной прочности σ_1/σ_p при трёхосном гидростатическом растяжении и при двухосном растяжении $\sigma_1 = \sigma_2$, а также σ_2/σ_p для двухосного сжатия.

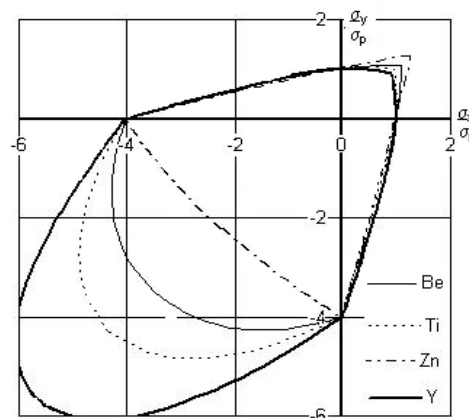
Таблица 1

Результаты расчёта параметров P, Q, F по Фойгту для ГПУ поликристаллов и относительная прочность для трёх видов напряжённого состояния при $\chi = 0,25$

Ма-тери-ал	P	Q	F= ρ_{23}	ρ_{12}	3х осн. раст.	2х осн. раст.	2х осн. сжат.
Cd	11,64	-3,386	0,972	-0,9926	1,984	1,329	-2,014
Zn	9,484	-2,758	0,614	-0,8956	1,805	1,27	-2,226
Be	5,191	-1,258	-0,346	-0,5521	1,364	1,099	-3,497
Co	1,065	-0,555	-0,419	-0,5378	1,311	1,014	-3,711
In	0,852	-0,436	-0,551	-0,4724	1,268	0,984	-4,221
Ti	0,751	-0,402	-0,569	-0,4639	1,248	0,974	-4,308
Sn	1,856	-0,325	-0,764	-0,2386	1,095	0,97	-5,822
Y	0,576	-0,109	-0,755	-0,1436	0,991	0,908	-5,714

Можно видеть, что $\rho_{12}(\bar{\xi}_{11}^1 \bar{\xi}_{11}^2) < 0$ для всех рассмотренных материалов, причём, чем меньше ρ_{12} , тем больше прочность при двухосном (рис. 1) и трёхосном растяжении (табл. 1). Заметим, что чем меньше $\rho_{12}(\bar{\xi}_{11}^1 \bar{\xi}_{11}^2)$, тем больше $\rho_{23}(\bar{\xi}_{11}^2 \bar{\xi}_{11}^3)$. Величина ρ_{23} определяет прочность при двухосном сжатии, причём, чем она меньше, тем прочность больше (рисунок).

Увеличение прочности при уменьшении ρ_{12} и ρ_{23} , когда главные макронапряжения имеют одинаковый знак, связано с тем, что взаимодействие зёрен при отрицательных коэффициентах корреляции приводит к уменьшению концентрации растягивающих микронапряжений ξ_{11} по сравнению с одноосным растяжением.



Теоретические контуры разрушения для плоского напряжённого состояния поликристаллов с ГПУ решёткой при $\chi=0,25$, соответствующие критерию (1), построенные по параметрам табл. 1

Список литературы

1. Багмутов В.П., Богданов Е.П. О возможности учёта типа кристаллической решётки и анизотропии прочности зёрен в критериях разрушения. Проблемы машиностроения и надёжности, №1. 2004. – С. 24-30.

2. Багмутов В.П., Богданов Е.П. Микро-неоднородное деформирование и статистические критерии прочности и пластичности: Монография/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2003. – С. 358 .

3. Богданов Е.П., Шкода И.А. Микро-взаимодействия анизотропных зёрен и вид поверхности разрушения/Сборник трудов Пятой Всероссийской конференции "Математическое моделирование и краевые задачи" (ММ-2007): Самарский государственный технический университет. – г. Самара, 2008. – С. 62-65.

**FAILURE SURFACE FOR
CLOSE-PACKED HEXAGONAL LATTICE FOR ORIENTED
STATISTICAL FRACTURE CRITERIA****Bogdanov E.P., Shkoda I.A.**

*Volgograd cooperative institute (branch)
of the Russian cooperation university, Volgograd
Kamyshin technological institute (branch) of the state
educational establishment of higher professional education
«Volgograd state technical university»*

The rating of failure surface, received in job, for polycrystals with with close-packed hexagonal lattice is carried out. The oriented statistical fracture criteria strength is used. The statistical laws of microstress distribution in polycrystals with close-packed hexagonal lattice are shown.

Keywords: statistical criteria of strength, failure surface, close-packed hexagonal lattic.