

К МЕТОДИКЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Сопрунов Д. В.

Научный руководитель Алфёрова Е. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
alferova@tpu.ru

Процессы, протекающие внутри кристалла при его нагружении (в лабораторных условиях или при работе в конструкции) неизбежно находят свое отражение на поверхности. Нередко деформационный рельеф, возникший в процессе работы той или иной детали ухудшает ее эксплуатационные характеристики. Вместе с тем встречается достаточное количество работ, в которых на основе деформационного рельефа оценивается состояние материала, например, [1]. Поэтому анализ морфологии поверхности является важной фундаментальной и практической задачей для исследователей. Для установления закономерностей формирования и развития деформационного рельефа целесообразно первоначально использовать модельные материалы. В настоящей работе приведены результаты исследований, полученные на монокристаллах никеля с различной кристаллографической ориентацией. Выбор монокристаллов в качестве объекта исследования обусловлен отсутствием в них зерен, границ зерен. Кроме того, авторы имеют достаточное количество экспериментальных данных по связи деформационного рельефа с кристаллографической ориентацией монокристаллов и величиной деформации [2-4]. Все это делает возможным установление связи между типом структуры после деформации и количественными параметрами рельефа. С точки зрения машиностроения наиболее очевидными параметрами для количественной оценки поверхности являются параметры шероховатости. ГОСТ 2789 регламентирует только шесть основных параметров шероховатости, что, по-видимому, является недостаточным для решения поставленной в настоящей работе задачи. В связи с чем в работе будут представлены параметры, нормированные в международных стандартах ИСО.

В работе исследовали монокристаллы никеля (примеси менее 0,01%), выращенные по методу Бриджмена. Никель обладает высоким значением энергии дефекта упаковки (200 мДж/м^2). Деформация при комнатной температуре протекает по октаэдрическим плоскостям скольжением. Деформирование сжатием проводили на испытательной машине Instron ElektroPuls E10000 со скоростью $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ при комнатной температуре. Картины деформационного рельефа исследовали на оптическом микроскопе Leica DM 2500P. Параметры деформационного рельефа определяли

на конфокальном микроскопе Olympus OLS4100.

В настоящей работе количественная оценка осуществлялась по следующим параметрам:

Ra (ГОСТ 2789). – среднее арифметическое отклонение профиля.

Параметры, нормированные по ISO 4287:1997:

Rq – среднеквадратичная шероховатость;

Rv – максимальная глубина впадины;

Rsk – параметр асимметричности позволяет оценить асимметричность плотности распределения ординат и определить преобладание в профиле поверхности выступов или впадин.

Кроме того, в работе оценивался безразмерный параметр Sp, который показывает отношение фактической площади поверхности к площади ее горизонтальной проекции. Этот параметр позволяет сравнивать степень развитости деформационного рельефа различного масштаба на образцах, деформированных на различную величину. Все параметры, кроме Sp оценивались на базовой длине $l=0,25 \text{ мм}$. Параметр Sp рассчитывался по всей снятой площади ($0,065 \text{ мм}^2$).

Усреднённые результаты, полученные для деформационного рельефа различного типа приведены в таблице. Из анализа полученных данных можно сказать, что значения среднего арифметического отклонения профиля Ra, среднеквадратичной шероховатости Rq очень близки между собой для деформационных структур всех рассмотренных типов. По параметру Rv более низкие значения характерны для следов сдвига и мезополос по сравнению с макрополосами и складками. Отметим, что параметр Rv характеризует максимальную глубину впадины, это экстремальный параметр, который может рассматриваться в качестве оценочного для концентраторов напряжений. Для интегральной оценки профиля поверхности с точки зрения преобладания выступов или впадин рационально использовать параметр Rsk. Данный критерий измеряет асимметричность функции плотности распределения ординат. В случае отрицательного значения параметра асимметричности в профиле преобладают выступы с плоскими протяженными вершинами. В этом случае можно говорить о том, что та или иная деформационная структура будет более благоприятной при эксплуатации детали.

С физической точки зрения это обстоятельство можно связать со стремлением кристалла организовать процесс протекания деформации наиболее благоприятным образом для сохранения целостности.

Таблица. Тип структуры и параметры шероховатости

Элемент рельефа	Следы сдвига	Мезополосы	Макрополосы	Складки
Ориентация и степень деформации	001, $\epsilon=20\%$	110 $\epsilon=20\%$	[111](110) $\epsilon=15\%$	[111](112) $\epsilon=15\%$
Ra, мкм	0,05	0,03	0,07	0,07
Rq, мкм	0,07	0,07	0,08	0,12
Rv, мкм	0,23	0,15	0,30	0,30
Rsk	-0,25...0,26	-0,20...0,42	-0,22...0,27	-0,26...0,60
Sp	1,02	1,01	1,01	1,02

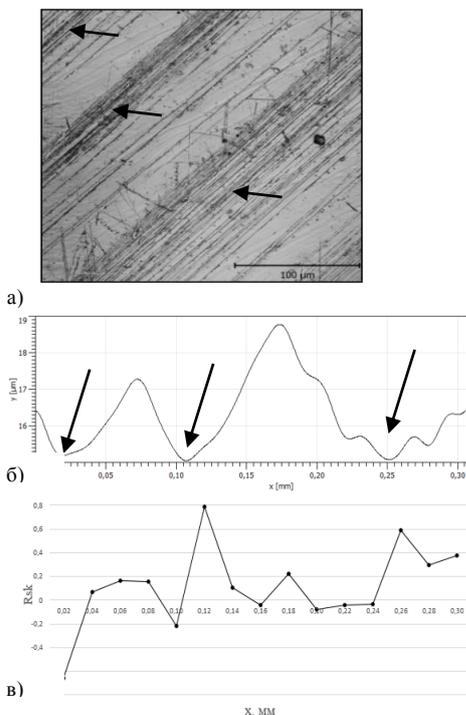


Рис. Деформационный рельеф (а) и соответствие профиля поверхности (б) распределению коэффициента асимметрии (в)

Анализируя данные таблицы можно увидеть, что параметр Rsk меняет свое значение в широких пределах для всех типов структур. Однако, также можно отметить, что предельное отрицательное значение практически совпадает для всех типов структур. Однако, из указанных данных трудно сделать какой-либо существенный вывод о способе организации деформации. Поэтому для более детальной оценки было рассмотрено изменение величины коэффициента асимметрии вдоль профиля поверхности. На рис. приведены результаты, полученные для пачек следов сдвига (пачки указаны на рис. стрелками). Из приведенных результатов видно, что в области формирования пачек количество впадин увеличивается, кроме того можно отметить, что чем плотнее пачка следов, тем более высокое положительное значение имеет коэффициент асимметрии. Анализируя параметр Sp можно оценить степень развитости рельефа на поверхности. Подобный анализ при моделировании деформации поликристаллов проводится, например, в работе [5]. И хотя при

рассмотренных в настоящей работе степенях деформации существенного отличия не наблюдается, дальнейшие экспериментальные исследования показали, что при увеличении степени деформации до 31% приводят к возрастанию параметра Sp до 3,8 для определенного типа складок.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что количественная оценка деформационных структур с помощью параметров шероховатости возможна. Однако она требует расширения используемых критериев, применения параметров, нормируемых не только по ГОСТу, но и по ИСО, а также более глубокого анализа этих параметров в сопоставлении с профилями и типами деформационных структур.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60007 мол_а_дк.

Список использованных источников

1. Карусевич М.В., Корчук Е.Ю., Маслак Т.П. Оценка накопленного усталостного повреждения по насыщенности и фрактальной размерности деформационного рельефа // Проблемы прочности. – 2008. – № 6. – С.128–135.
2. Лычагин Д.В., Алферова Е.А., Шаехов Р.В., Лычагин А.Д., Старенченко В.А. Неоднородность деформации в монокристаллах никеля с разной иерархией структурных элементов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – Т. 4. – № 2. – С. 26-35.
3. Alferova E.A., Lychagin D.V. Characterization of Deformation Pattern Structure Elements Generated in Uniaxial Compression of Nickel Single Crystals // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 66-70.
4. Алферова Е.А., Лычагин А.Д., Лычагин Д.В., Старенченко В.А. Неоднородность деформации монокристаллов никеля с разной кристаллогеометрической установкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Т. 9. – № 2. – С. 218-224.
5. Зиновьева О.С., Романова В.А., Балохонов Р., Шахиджанов В.С., Емельянова Т.В. Численный и статистический анализ влияния размера зерна на характеристики деформационного рельефа в поликристаллических образцах. // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 4. – С. 87-95.