

ПЛАСТИЧНІ РОТАЦІЇ У ДЕФОРМОВАНИХ МОНОКРИСТАЛАХ КРЕМЕНИСТОГО ЗАЛІЗА

При одноосному симетричному розтязі монокристалів кременистого заліза, починаючи з 3% відносного видовження, помічено ротаційну нестійкість, встановлено послідовність переходу від фрагментації до пластичних ротацій, а також проведено оцінку радіуса викривлення кристалічної ґратки.

The rotation unstable of the FeSi monocrystals under one-axis symmetry stretching (since 3% lengthening) was determined experimentally. The transitions from fragmentation to plastic rotation were observed. The estimation of the radius disfiguration for crystal lattice was done.

Відомо, що при пластичній текучості кристалу, крім зсувів, він зазнає пластичних поворотів, на що вказував ще А.Ф.Йоффе [1], котрий помітив характерне явище астеризму на рентгенограмах деформованих кристалів. Поява таких ефектів однозначно вказує на те, що кристал подрібнюється на окремі фрагменти, які повернуті один відносно одного [2,3], тобто єдина вихідна орієнтація монокристала замінюється на інтервал кутів орієнтації.

Не проводячи детальний ретроспективний опис робіт даного напрямку, відзначимо історичну спадкоємність вивчення явища пластичної ротації, при цьому доречно нагадати фундаментальне за своїм значенням твердження О.В.Степанова [4], який першим сформулював принцип орієнтаційної нестійкості при деформації – неминучість втягнення у процес пластичної текучості поворотних каналів масопереносу. Ця властивість на певному структурному рівні [5] виявляється у трьох послідовних модифікаціях відносно розділення кристала на розорієнтовані одна відносно одної мікрообласті [6]:

- а) на початковій стадії пластичної деформації в кристалах формується структура, яка складається зі слабо розорієнтованих скупчень (менше ніж 1°);
- б) на стадії розвинутої пластичної деформації кристал розбивається на сукупність фрагментів, розміри яких зі збільшенням пластичної деформації зменшуються, а їх розорієнтація зростає, досягаючи десяти градусів;
- в) на подальших стадіях пластичної деформації в кристалах, внаслідок дисклинаційних скидань,

утворюються потужні границі, які дезорієнтують сусідні області на кути до одного радіана.

Експериментальні дані [7-9] підтверджують наявність усіх послідовних стадій фрагментації кристала на розорієнтовані одна відносно одної області. З роботи [7] також випливає, що складкоутворення на поверхні циклічно деформованої алюмінієвої пластини відповідають напрямку прикладених до зразка вигинаючих напруг, тобто поверхні пластичних ротацій, зорієнтовані уздовж зразка, не пов'язані з площинами ковзання дислокацій і, взагалі кажучи, не залежать від кристаллографічної орієнтації зерен кристала, що добре погоджується з теорією [6]. Крім того, оскільки три щілини трафарета-репера відкривали для доступу рентгенівських променів вузькі смужки поверхні тільки одного зерна алюмінію (з площиною (100), паралельною поверхні зразка), то рентгенівські рельєфограми [7] несли інформацію про поверхню цього окремо взятого зерна крупнозернистого полікристала.

Отже, теорія пластичних ротацій [6] є не менш коректною для інтерпретації складчастого деформаційного рельєфу [7-9], ніж феноменологічні уявлення [10] про втрату поверхневої нестійкості тонкого шару деформованої кристалічної пластини.

Варто відзначити, що теоретичні положення, які використані нами для пояснення експериментальних даних [7-9], стосуються механіки деформування структур неоднорідного середовища, традиційний опис якого полягає у розгляді його як континуума, де взаємний вплив елементів структури враховується за допомогою методу

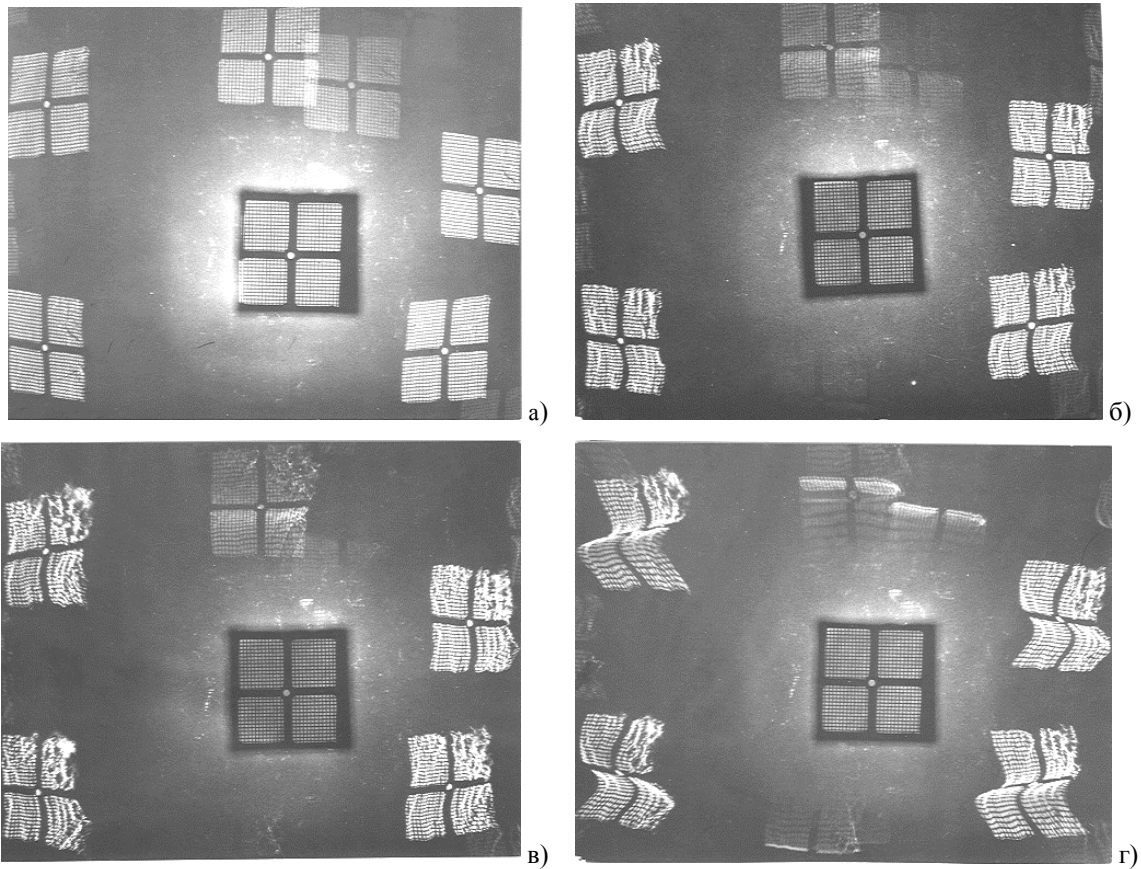


Рис.1. Рентгенівські інтротопограми пластинчастого монокристалу кременистого заліза, що піддається одноосному симетричному розтягу: початковий стан (а), розтяг на 0,43% (б), 2,13% (в), 2,93% (г).

кореляційних функцій, а границі розділу служать лише для розповсюдження деформації.

Об'єктами дослідження було обрано пластинчасті монокристали кременистого заліза з площиною (110), що паралельна широкій грані зразка, вибір яких продиктований такими міркуваннями. З одного боку, міжплощинна відстань алюмінію з орієнтацією (200) відрізняється всього на 0,01 Å від міжплощинної відстані кременистого заліза (110) ($d=2,02$ Å). Остання обставина дозволяє при використанні методики [9] зберегти в експерименті ідентичні рентгенооптичні умови зйомки. З іншого боку, кременисте залізо й алюміній суттєво відрізняються за гомологічною температурою деформування, за видом кристалічної ґратки (ОЦК та ГЦК відповідно) і способом реалізації елементарних актів пластичної текучості (в кременистому залізі крім ковзання може спостерігатися двійникування). Це дало змогу порівнювати результати дослідження деформаційного макрорельєфу, що виникає на поверхні двох матеріалів з механічними властивостями, які різко відрізняються.

Вказані монокристалічні зразки піддавалися одноосному симетричному розтягу і рентгенографувалися за схемою Лауе. Особливість рентгенівської зйомки - об'єднання методів Фудживара та Ровинського-Вадевиця [11]. При цьому застосовано два трафарети-репери: квадратне віконце (10×10 мм²) з двома взаємно перпендикулярними свинцевими перетинками ("хрест" у квадраті) і мідна сітка з базою 0,3 мм, яка накладається на поверхню зразка.

На рис.1 наведено рентгенівські інтротопограми початкового стану кристала (а) та станів після його деформування на 0,43 (б), 2,13 (в) і 2,93% (г). Насамперед привертає увагу те, що при розтязі зразка (на ≈ 2 %) виникає фрагментація, про що свідчать світлі лінії на інтротопограмах, які відповідають субграницям між блоками деформованого монокристала. Як видно з рис.1, ротації з'являються при значно більшому ступені деформації, а починаючи з трьох відсоткового відносного видовження, помічається викривлення кристалічної ґратки – відстані між тінювими зображеннями перетинок трафарета на дифракційних

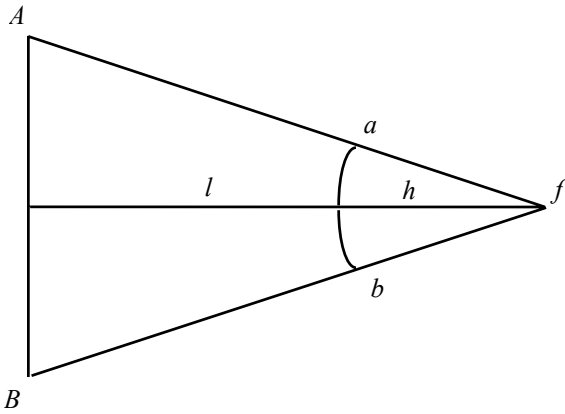


Рис.2. Рентгенографічна схема для визначення радіуса викривлення кристалічної ґратки, яка піддається пластичній деформації. AB - рентгенооптичне зображення бази сітки, ab - величина бази сітки, l - відстань від кристала до його дифракційного зображення, h - радіус локального викривлення.

рентгенівських рефлексів збільшуються, крім того, більшість рефлексів мають вигляд синусоїди (внаслідок одноосного симетричного розтягу).

На рис.2 наведена рентгенографічна схема, яка дозволяє оцінити радіус викривлення ґратки монокристала, що піддається пластичній деформації.

Неважко показати, що у відповідності до рентгенооптичних умов експерименту

$$h = \frac{ab \times l}{AB - ab},$$

де AB - рентгенооптичне зображення бази сітки, ab - величина бази сітки, l - відстань від кристала до його дифракційного зображення, h - радіус локального викривлення. За нашими оцінками, радіус кривизни h у процесі деформування змінився від 3 до 30 мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Иоффе А.Ф.* Избранные труды: В 2 т. - Ленинград: Наука, 1974. Т.1. Механические и электрические свойства кристаллов.
2. *Баррет Ч.С.* Структура металлов. - М.: Металлургиздат, 1948.
3. *Хоникомб Р.* Пластическая деформация металлов. - М.: Мир, 1972.
4. *Степанов А.В.* Основы практической прочности кристаллов. - М.: Наука, 1974.
5. *Панин В.Е., Лихачев В.Л., Гриняев Ю.В.* Структурные уровни деформации твердых тел. - Новосибирск: Наука, 1985.
6. *Рыбин В.В.* Большие пластические деформации и разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1985.
7. *Моисеев Л.М., Старый И.Б., Ханонкин А.А.* Микрорентгенографическое исследование рельефа поверхности монокристалла алюминия, подвергнутого циклической деформации // ФФМ. - 1969. - 27, вып.4. - С.760-762.
8. *Моисеев Л.М., Старый И.Б., Ханонкин А.А.* К методике исследования складчатого микрорельефа, возникающего на поверхности монокристалла при его циклической деформации // Металлофизика. Вып.29. - Киев: Наукова думка, 1970. - С.177-180.
9. *Моисеев Л.М., Ханонкин А.А.* Рентгеновский профилограф для определения макроскривлений отражающей поверхности монокристалла // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. Вып.11. - Ленинград: Машиностроение, 1972. - С.44-50.
10. *Нудельман Я.Л., Эрлих Л.Б.* Волнообразования на поверхности некоторых деталей машин // Доклады АН СССР. - 1952. - 85, вып.5. - С.971-974.
11. *Панин В.Е., Моисеев Л.М., Ханонкин А.А.* Определение вида и величины искажения кристаллической решетки в деформированном алюминии // Дефектоскопия. - 1992. - 2. - С.14-18.