

05; 12

© 1993

ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ МОД
ДЕФОРМАЦИИ НЕМАТИКАМИС.А. А т р о ш е н к о, Н.И. Ж и г а ч е в а,
Ю.И. М е ш е р я к о в, М.Г. Т о м и л и н

В работе впервые сделана попытка применения нематических жидких кристаллов (НЖК) для получения новой информации о структуре динамически деформированных металлов. Метод состоит в нанесении тонкого слоя НЖК на полированную поверхность металла и последующем исследовании этой поверхности на оптическом микроскопе в поляризованном свете. Молекулы НЖК ориентируются на поверхности деформированного металла под определенными углами, создавая соответствующие изображения. Метод был применен для исследования ротационной и трансляционной пластичности металлов при ударном нагружении: меди МЗ, М2, М0, алюминия А6 и А998 и стали 30ХН4М в диапазоне скоростей 30-450 м/с. Плоские образцы указанных металлов диаметром 52 мм и толщиной от 5 до 10 мм после испытания в условиях ударной одноосной деформации разрезали вдоль направления распространения волны, приготавливали металлографический шлиф, наносили на поверхность разреза НЖК состава МББА + ЭББА и наблюдали искомые структуры. Прежде всего применение НЖК позволило визуализировать зеренную структуру (см. рис. 1), причем форма и размеры зерен (125-175 мкм) совпали с зернами, выявленными методом обычного химического травления. Это свидетельствует о том, что применяемый метод адекватно отражает картину кристаллографической разориентации в разных зернах. Картину выявленной зеренной структуры металла с помощью НЖК можно объяснить электрохимической гетерогенностью поверхности материала, вызванной не только микронеоднородностью структуры (различием в составе или ориентации отдельных кристаллитов), но также различным энергетическим состоянием атомов основного металла, на что реагируют молекулы НЖК. Для самопроизвольной локальной переориентации молекул ЖК, обусловившей декорирование отдельных зерен, потребовались не доли секунд, как в обычных случаях при визуализации структурных дефектов, а несколько часов, что свидетельствует о весьма слабых полях, визуализируемых НЖК. Оценим напряженность электрического поля E , исходя из уравнения баланса между моментами упругих и вязких сил и вращающим моментом со стороны внешнего электрического поля:

$$E^2 = - \frac{4\pi\chi}{\Delta\epsilon t} \frac{\tau n \operatorname{tg}\theta_m}{\operatorname{tg}\theta_0},$$



Рис. 1. Зеренная структура меди М2, визуализированная НЖК (скорость нагружения 216 м/с); $\times 160$.

где θ_m и θ_0 - начальный и конечный угол наклона директора к подложке, $\Delta\epsilon$ - диэлектрическая анизотропия ЖК, γ_1 - вращательная вязкость ЖК, t - время электрооптического отклика. Примем для нашего случая $\gamma_1 = 0.8$ Пз, $\Delta\epsilon = 10$, $\theta_m = 1.569$ рад, $\theta_0 = 0.003$ рад, $t = 10^5$ с тогда $E \approx 1.1 \cdot 10^{-2}$ в/см, что на семь порядков меньше пробивной напряженности электрического поля, при которой обычно используются ЖК.

Во всех типах металлов были обнаружены следы трансляционной и ротационной пластичности, трудно выявляемые или практически не выявляемые с помощью традиционных методов исследования. Для сравнения НЖК наносились на материалы также в исходном (недеформированном) состоянии, при этом отмеченных следов трансляционной и ротационной пластичности не наблюдалось.

Трансляционная и ротационная пластичность наблюдается на двух структурных уровнях: мезо- и суперструктурном, что подтверждает результаты ранее проведенных исследований [1, 2]. Трансляционная локализация сдвиговой деформации наблюдается в виде полос сдвига длиной 700–900 мкм с расстоянием между ними 120–150 мкм, направленных вдоль распространения ударной волны (см. рис. 2). Ротационная пластичность выявляется в виде отдельных роторов, вихрей, но чаще в виде диполей или квадруполей, что энергетически более выгодно, чем в случае одиночных ротаций. Еще большей взаимной экранировкой полей напряжений, чем диполи и соответственно меньшей энергией характеризуются квадруполи, состоящие из ротаций. Это напоминает ситуацию в случае

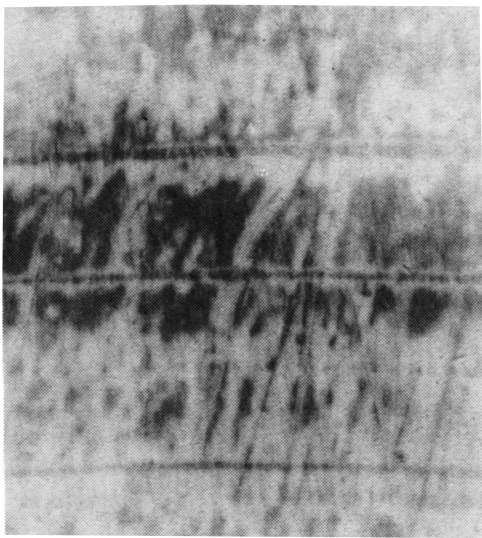


Рис. 2. Линии локализованного сдвига и полосовые структуры, визуализированные НЖК, в меди М2 (скорость нагружения 178 м/с); $\times 63$.

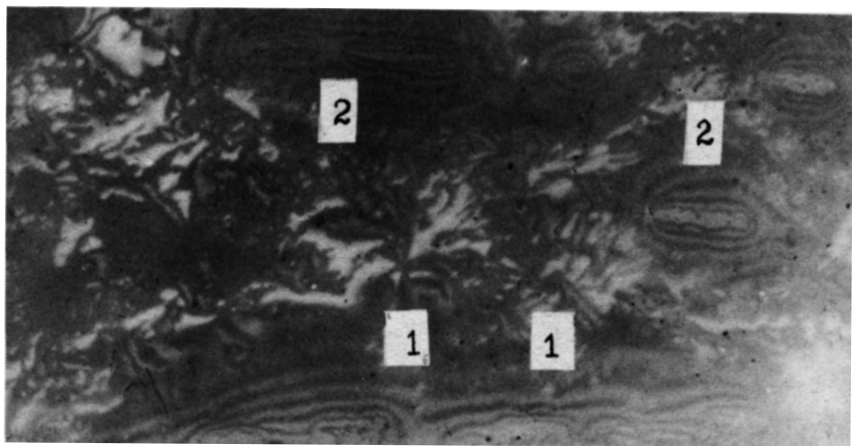


Рис. 3. Отдельные ротации (1) и ротационные диполи (2), визуализированные НЖК, в стали 38ХНЗМФА (скорость нагружения 265 м/с); $\times 375$.

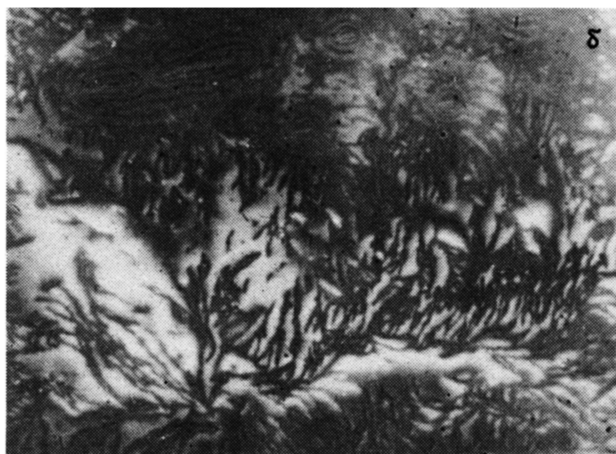
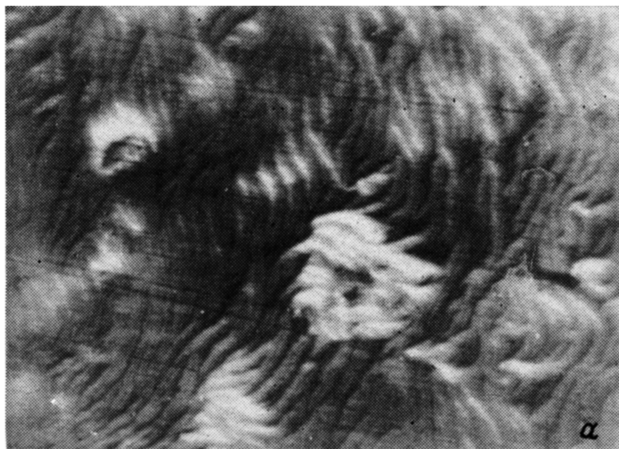


Рис. 4. Ротационные ячейки, визуализированные НЖК, в меди М2 (а) и в стали 38ХНЗМФА (б); $\times 250$.

дисклинационных дефектов. Известно, что энергия такого дисклинационного квадруполья может быть даже меньше, чем у единичных дислокаций [3]. На рис. 3 представлены диполи ротаций в стали 38ХНЗМФА.

С помощью метода НЖК удалось измерить угол поворота материала внутри ротации, который в зависимости от материала и условий нагружения составил от 50 до 130° . Угол поворота определяли по углу, на который необходимо было повернуть обра-

зец, чтобы цвет внутри ротации совпал с цветом материала вне ротации.

В ротационном вихре по конвективным потокам, которые также выявляются НЖК, можно определить направление вращения материала (см. рис. 4). Кроме того НЖК, выявляет двойники, вызванные динамическим деформированием в меди.

На достоверность метода указывает факт воспроизводимости всех указанных результатов на разных типах материалов после динамического деформирования.

Таким образом, впервые после ударного нагружения визуализированы трансляционные и ротационные моды деформации. По сравнению с традиционными методами использование НЖК позволило определить углы поворота внутри ротационных ячеек, а также выявить диполи ротаций.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А т р о ш е н к о С.А., Б е й л и н а О.Я., Г л а д ы ш е в С.А., Д и в а к о в А.К., М е щ е р я к о в Ю.И., П е т р о в Ю.А. // ФГВ. 1990. № 3. С. 65-71.
- [2] М е с с е r e y а к о в Yu.L, А т р о ш е н к о S.A. // Int. J. Solids Structures. 1992. V. 29. N 22. P. 2761-2778.
- [3] Л и х а ч е в В.А., Х а й р о в Р.Ю. Введение в теорию дисклинаций. Л.: ЛГУ, 1975. 183 с.

Институт
проблем машиноведения
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
28 марта 1993 г.