

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

ISBN 978-5-4387-0560-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
электронный текст, 2015

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ
СТАЛИ ГАДФИЛЬДА МЕТОДОМ СПЕКЛ-ФОТОГРАФИИ**

Ю.В. Ли¹, А.М. Жармухамбетова¹

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Баранникова С.А.^{1,2}

¹Томский государственный университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г.Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: bsa@ispms.tsc.ru

**THE STUDY OF LOCALIZED PLASTIC DEFORMATION OF SINGLE CRYSTALS OF GADFIELD
STEEL USING SPECKLE PHOTOGRAPHY TECHNIQUE**

Yu.V. Li¹, A.M. Zharmukhambetova¹

Scientific Supervisor: Dr. S.A. Barannikova^{1,2}

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

E-mail: bsa@ispms.tsc.ru

***Annotation.** The evolution of local strain during stretching of high-manganese carbon austenite (Gadfield steel) was studied. The ordered patterns of strain localization proved to be closely related to the stages in the stress–strain curve. The results of this study are compared with analogous data for chromium–nickel nitrogen austenite single crystals. The velocity of self-consistent motion of the sites where plastic strain during stretching of \square -Fe single crystals is nonuniform was determined as a function of the strain hardening coefficient and deformation mechanism.*

При обобщении результатов исследований моно- и поликристаллов металлов и сплавов [1], выполненных с использованием методики спекл-фотографии, было установлено существование типов особенностей локализации деформации, соответствующих вполне определенным стадиям пластического течения. Деформационные структуры в виде уединенного фронта, подвижных и стационарных диссипативных структур были интерпретированы [1,2] как различные варианты автоволновых процессов в нелинейной среде [3]. Аналогичные теоретические и экспериментальные данные были независимо получены другими авторами [4,5].

Настоящее исследование выполнено на монокристаллах стали Гадфильда (Fe -13% Mn –0.93% C), выращенных методом Бриджмена в атмосфере гелия. Образцы вырезали на электроискровом станке в форме двойных лопаток сечением $1,5 \times 5,0$ мм² и рабочей длиной 28 мм. Монокристаллы гомогенизировали в инертном газе 24 часа при 1373 К, закаливали в воде после выдержки 1 час при 1373 К. При комнатной температуре образцы растягивались на испытательной машине “Instron - 1185” со скоростью $1,2 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹. Начиная с предела текучести и вплоть до разрыва с периодичностью 15 с (через 0,2% общей деформации), методом спекл-фотографии [6] производилась регистрация полей векторов смещений на фронтальной поверхности исследуемых образцов. Путем численного дифференцирования

по координатам вычислялись распределения продольных, поперечных, сдвиговых и поворотных компонент тензора пластической дисторсии для всех точек наблюдаемой поверхности образца (Рис. 1). Далее распределения локальных деформаций строили по всему образцу или вдоль его осевой линии для разных моментов времени или разных значений общей деформации (Рис. 2).

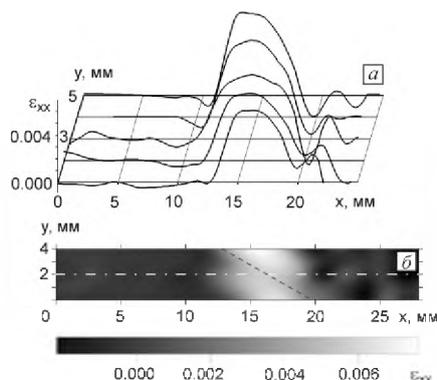


Рис. 1. Распределение локальных удлинений ε_{xx} , наблюдаемые на рабочей поверхности деформированного монокристалла стали Гадфильда с содержанием 0.93 % C, $[\bar{3}77]$, в промежутке общей деформации $\varepsilon_{tot} = 0,08 \dots 0,082$ на площадке текучести (а) и соответствующая карта распределений локальных удлинений (б)

В монокристаллах γ -Fe с углеродом, ориентированных вдоль $[012]$ при растяжении, согласно [7], деформация скольжением является основным механизмом пластического течения. На деформационной кривой за пределом текучести следуют две стадии с постоянным коэффициентом деформационного упрочнения (Рис. 2а).

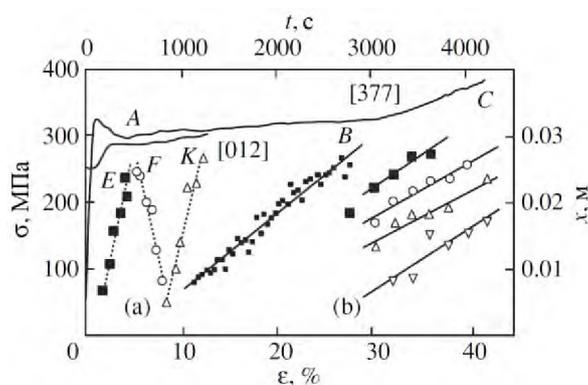


Рис. 2. Зависимость распределений максимумов локальных удлинений ε_{xx} от времени деформирования на разных стадиях в соответствии с кривыми нагружения стали Гадфильда: а) на стадии легкого скольжения в монокристаллах $[012]$; б) на стадии легкого скольжения и линейного упрочнения в монокристаллах $[\bar{3}77]$

Распределения компонент тензора дисторсии фиксировались в промежутке деформаций $\varepsilon_{tot} 1 \div 12$ %. На примере распределений локальных удлинений ε_{xx} (остальные компоненты ведут себя аналогично) показано, что после предела текучести на начальной стадии легкого скольжения наблюдается перемещение уединенного деформационного фронта от одного захвата машины к другому. По мере прохождения фронта деформации по длине образца (участок EF на деформационной кривой), меняется

направление его движения на противоположное и значение скорости распространения фронта (участок FK на деформационной кривой) (Рис. 2а). Скорость распространения деформационного фронта, определенная по наклону прямой, характеризующей распределение координат максимумов X локальных удлинений ε_{xx} (распределение локальных удлинений показано на рис. 1) с течением времени деформирования t , составила $V_I = V_{II} = 5 \cdot 10^{-5}$ м/с, $V_{III} = 7 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Следует отметить, что наблюдаемые зоны локализации пластического течения при нагружении кристаллов стали Гадфильда с ориентацией [012] двигались со скоростью $\sim(5-7) \cdot 10^{-5}$ м/с, в случае кристаллов хромоникелевого аустенита с азотом [1,2], деформация которых осуществлялась также скольжением, скорость движения деформационных зон на стадии легкого скольжения составила $\sim 3,5 \cdot 10^{-5}$ м/с.

В монокристаллах γ -Fe с углеродом, ориентированных вдоль [377], согласно [7], основным механизмом пластической деформации при растяжении при комнатной температуре является двойникование, наблюдающееся с самого начала пластической деформации.

На деформационной кривой (Рис. 2 б) стадия легкого скольжения вместе с зубом текучести имела протяженность до 30%. При этом по кристаллу распространяется полоса Людерса. Последующее увеличение деформации кристаллов [377] приводит к линейному упрочнению до 45% вплоть до разрушения. Стадия параболического упрочнения в данной ориентации, как и в ориентации [012], не наблюдалась.

Анализ распределений зон локализованной деформации показал следующее. На протяжении всей стадии легкого скольжения (участок АВ на деформационной кривой) перемещается одиночный фронт пластической деформации (Рис. 1) со скоростью $V_I = 9 \cdot 10^{-6}$ м/с (Рис. 2 б). На стадии линейного упрочнения (участок ВС) движется совокупность 4-5 локализованных максимумов деформации вдоль оси образца с постоянной скоростью $V_{II} = 1,25 \cdot 10^{-4}$ м/с. Пространственный период процесса, показанного на рис. 2 б, на линейной стадии составил $\lambda = 5 \pm 1$ мм.

Результаты представленной работы подтверждают сформулированные ранее выводы о том, что типы распределений локальных деформаций при нагружении материалов и характер эволюции этих распределений определяются поведением коэффициента деформационного упрочнения по мере нарастания уровня общей деформации [1,2]. Однако кинетика периодических процессов при пластическом течении монокристаллов легированного γ -Fe с углеродом обнаружила некоторые особенности. Из полученных экспериментальных данных удалось установить влияние на скорость перемещения зон локализации пластического течения коэффициента деформационного упрочнения и механизмов деформации- скольжения и двойникования. Выяснение характера связи $V(\theta)$ может способствовать пониманию природы наблюдаемых при деформации периодических процессов при двойниковании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zuev L.B., Barannikova S.A. Experimental study of plastic flow macro-scale localization process: pattern, propagation rate, dispersion // International Journal of Mechanical Sciences. – 2014. – V. 88. – P. 1-7.
2. Баранникова С.А., Зувев Л.Б., Данилов В.И. Кинетика периодических процессов при пластическом течении // Физика твердого тела. - 1999. - Т. 41. - № 7. - С. 1222-1224.

3. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы. - М.: Наука, 1987. – 240 с.
4. Aifantis E.C. Nonlinearity, periodicity and patterning in plasticity and fracture // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 1996. – V. 31. – No. 6. – P. 797–809.
5. Третьякова, Т.В., Вильдеман В.Э. Исследование развития трещин при сложных режимах нагружения методом корреляции цифровых изображений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – № 6. – С. 54 – 58.
6. Zuev L.B., Gorbatenko V.V., Pavlichev K.V. Elaboration of speckle photography techniques for plastic flow analyses // Measurement Science and Technology. – 2010. – V. 21. – No. 5. – P. 1 – 5.
7. Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Литвинова Е.И. и др. Двойникование в монокристаллах стали Гадфильда // Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 1. – С. 45–48.