

УДК 669.66-96

ББК 34.2.34.3.95

Д 39

Д 39 VII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 7-10 ноября 2017 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2017, 951с.

ISBN 978-5-4465-1624-7

Организаторы конференции:

- Федеральное агентство научных организаций
- Российская Академия наук
- Российский фонд фундаментальных исследований
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
- INSTRON (ООО "ИнтелТест")
- Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности
- Журнал «Деформация и разрушение материалов»

Информационный партнеры конференции:

- Экспир - экспертная площадка для ученых, и предпринимателей

Конференция поддержана РФФИ: грант 17-08-20555

грант 17-38-10313

Материалы публикуются в авторской редакции.

Сборник материалов доступен на сайте <http://dfmn.imetran.ru/>

© ИМЕТ РАН 2017

ISBN 978-5-4465-1624-7



9 785446 516247 >

микроструктурный и кристаллографический анализ в этих исследованиях осуществлялся методами электронной микроскопии и рентгенографии. Однако появление принципиально нового метода микроскопии, основанного на автоматическом анализе картин дифракции обратно рассеянных электронов (так называемый, EBSD анализ), открывает новые возможности для более глубокого исследования этого интересного феномена. Широкое использование EBSD анализа в мире в последнее десятилетие уже привело к настоящему прорыву в исследовании процессов деформации, рекристаллизации, фазовых превращений и ряда других. В данной работе EBSD анализ использован для изучения обратимого мартенситного превращения в аустенитной стали 12X18H10T. Приводятся первые результаты сравнительного EBSD анализа стали 12X18H10T в двух структурных состояниях. Первое состояние получено отжигом в аустенитной области, а второе состояние получено последующей криогенной прокаткой образцов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-42-020426).

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА БЕЙНИТНОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ СЖАТИИ

Аксёнова К.В.¹, Громов В.Е.¹, Никитина Е.Н.¹, Иванов Ю.Ф.^{2,3}

¹*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, 654007, Россия,
gromov@physics.sibsiu.ru*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, 634055, Россия, yufi55@mail.ru*

³*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, 634050,
Россия*

Целью работы являлось установление закономерностей эволюции фазового состава, дефектной субструктуры и выявление механизмов деформационного упрочнения бейнитной стали 30X2H2MФА, деформированной одноосным сжатием при комнатной температуре.

Выявлена стадийность деформационного упрочнения конструкционной стали с бейнитной структурой. Выделены две стадии деформационного упрочнения: стадия с параболической зависимостью σ - ε или убывающим коэффициентом упрочнения Θ и стадия со слабо изменяющимся коэффициентом упрочнения Θ . Разрушение испытываемых образцов бейнитной стали происходило при $\varepsilon = (0,43...47)$ путем хрупкого скола под углом ≈ 45 градусов к оси деформации с образованием нескольких крупных осколков.

В результате бейнитного превращения при непрерывном охлаждении в стали 30X2H2MФА образуется многофазная структура, представленная α -фазой (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки), γ -фазой (остаточный аустенит, твердый раствор на основе ГЦК кристаллической решетки) и карбид железа (в низко- и среднеуглеродистых сталях – цементит). Основной фазой данного класса сталей является α -фаза; объемная доля остаточного аустенита изменяется в пределах до 10 %, объемная доля частиц карбидной фазы изменяется в пределах (1-2) %.

Установлено, что с увеличением степени деформации стали наблюдается уменьшение продольных размеров фрагментов пластин бейнита; увеличение плотности микродвойников; скалярной и избыточной плотности дислокаций, линейной плотности изгибных экстинкционных контуров и амплитуды внутренних дальнедействующих полей напряжений. В совокупности указанные процессы приводят к формированию в материале областей с критической субструктурой, способной к формированию микротрещин с последующим разрушением образца.

Выявлено формирование в процессе деформации стали с $\varepsilon > 30$ % каналов локализованной деформации – особых наноструктурных состояний материала, располагающихся вдоль границ раздела соседних пластин бейнита или границ зерен (рис. 1, а). В них локализован сдвиг, в несколько раз превосходящий средний по материалу.

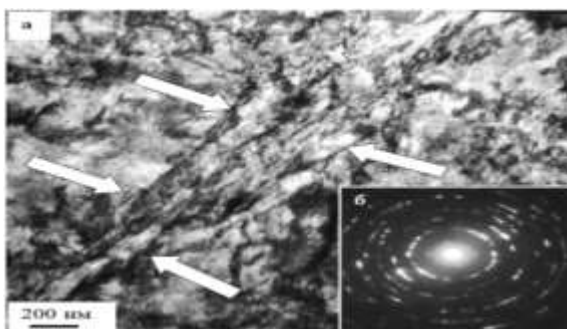


Рис. 1. Каналы деформации, формирующиеся в стали 30X2H2MФА с бейнитной структурой; $\varepsilon=43\%$; а - светлое поле (стрелками обозначены каналы деформации); б – микроэлектронограмма.

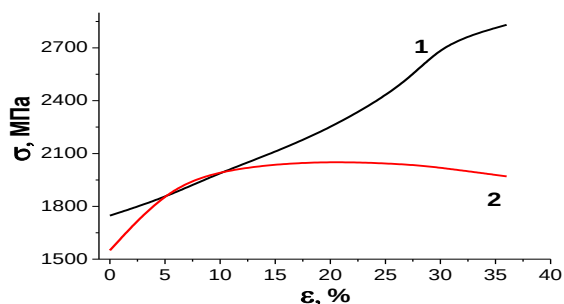


Рис. 2. Кривые деформационного упрочнения стали, рассчитанные по результатам оценок механизмов упрочнения (кривая 1) и выявленная на эксперименте (кривая 2).

Такие области на темнопольных изображениях в матричных рефлексах проявляются в виде крапчатого контраста. Микроэлектронограммы, полученные с таких областей, имеют, как правило, квазиколецовое строение. Эти области простираются на несколько микрометров в длину и имеют в поперечнике $\sim 0,5$ мкм. С ростом степени деформации средние размеры каналов деформации увеличиваются.

Канал деформации имеет слоистое строение, напоминая этим структуру пакета мартенсита. Слои сформированы кристаллитами, размеры которых изменяются в пределах (50-100) нм. Кольцевое строение микроэлектронограммы, полученной с области локализации (канала деформации) (рис. 1, б), указывает на преимущественно большеугловую разориентацию кристаллитов, формирующих его. С ростом степени деформации объем материала, занятый каналами деформации возрастает, достигая на момент разрушения стали нескольких процентов.

В канале деформации субструктура является фрагментированной, однако размеры фрагментов много меньше, чем в основном объеме материала. Кроме того, фрагменты в канале деформации изотропны по форме. Если судить по размеру фрагментов, то следует полагать, что в канале деформации локализован сдвиг в несколько раз превосходящий средний. Различие формы фрагментов в матрице (высокоанизотропные фрагменты) и каналах (изотропные фрагменты) свидетельствует о различных механизмах их формирования.

Следующая особенность структуры каналов деформации связана с поведением в них изгибных экстинкционных контуров. Отметим, что изгибные контуры экстинкции отмечают области с одинаковой ориентацией конкретных плоскостей отражения по отношению к падающему пучку электронов. Как в канале деформации, так и в прилегающих к нему областях присутствуют участки одной ориентации или близких, вытянутые приблизительно параллельно длинной стороне канала. Поскольку при сжатии, как правило, возникает значительное количество участков с турбулентным течением, такое сопоставление может пролить свет на природу каналов деформации. А именно, условия деформирования в них таковы, что работа деформации оказывается ниже, чем в соседних участках. Можно предположить, что основную роль здесь играет локальный разогрев материала.

Еще одной особенностью каналов деформации являются значительные поля напряжений, локализованные внутри них и в прилегающих к ним областях. Возможны два механизма релаксации этих полей напряжений. Во-первых, путем фрагментации. В этом случае образуются цепочки фрагментов малых размеров и близкой ориентации, расположенные вдоль канала деформации. Во-вторых, путем развития микротрещин.

Деформационное упрочнение конструкционной стали с бейнитной структурой носит многофакторный характер. Был проведен анализ следующих механизмов упрочнения и оценки величин их вкладов в формирование напряжения течения: вклад, обусловленный трением решетки матрицы; вклад от внутрифазных границ; от дислокационной субструктуры; присутствия частиц карбидных фаз; от атомов лигирующих элементов; дальнедействующих полей напряжений. Установлено, что наибольший вклад в величину деформационного упрочнения вносит субструктурное упрочнение (упрочнение, обусловленное дальнедействующими внутренними полями напряжений и фрагментацией структуры) и твердорастворное упрочнение, обусловленное внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку феррита. Сравнительно малое упрочнение

оказывает дислокационная субструктура и частицы карбидной фазы. Зависимость σ - ϵ , полученная при анализе механизмов упрочнения стали (рис. 2, кривая 1), при степенях деформации, превышающих $\approx 15\%$, существенно превышает значения, выявленные на эксперименте (рис. 2, кривая 2). Установлено, что причиной разупрочнения стали с бейнитной структурой при больших (более 15%) степенях деформации является активация процесса деформационного микродвойникования.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов (проект СП 1335.2016.1) и гранта РНФ №15-12-00010 на выполнение научно-исследовательской работы.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КИНЕТИКИ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОТРУБКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

Артамонова О.В.

*Воронежский государственный технический университет, Россия. E-mail:
ol_artam@rambler.ru*

В настоящее время различные виды нанодобавок трубчатого строения применяются при модифицировании строительных композитов, улучшая их физико-химические и механические свойства [1, 2]. Актуальной задачей является разработка и применение технологии модифицирования цементных систем нанотрубками различной природы, а так же исследование влияния этих модификаторов на процессы твердения цементного камня.

Ранее нами установлено [3, 4], что введение наноразмерных частиц трубчатого строения в цементные системы значительно изменяет процессы структурообразования цементного камня в самом раннем возрасте. Являясь химически активными наночастицы хризотила, участвуют в реакциях гидратации клинкерных минералов, а также выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации. Их высокая удельная поверхностная энергия изменяет термодинамические условия химических реакций, что приводит к появлению продуктов твердения измененного, по сравнению с эталонной системой твердения минералогического и морфологического составов. При этом обеспечивается формирование кристаллических сростков низкоосновных гидросиликатов кальция с соотношением $C/S \leq 1,0$ вместо первичных кристаллогидратов типа портландита или высокоосновных гидросиликатов кальция. Известно, что именно формирование низкоосновных гидросиликатов кальция способствует повышению прочности цементного камня.

Углеродные нанотрубки введенные в цементную систему могут выполнять роль дополнительных активных центров кристаллизации, нано- и микроармирующих элементов, и как следствие, могут значительно зонировать пространство кристаллизационной структуры цементного камня, что ведет в итоге должно приводить к упрочнению цементного камня при модифицировании.

Целью данной работы являлось изучение кинетики набора прочности цементного камня модифицированного нанотрубками различных видов.

Исходными компонентами для модифицирования цементных систем являлись цемент типа ЦЕМ I, нанотрубки хризотила (НТХ) $[Mg_3Si_2O_5(OH)_4]$, углеродные нанотрубки (УНТ) марки Nanosyl-7000, техническая вода (ГОСТ 23732-79). Модифицирование цементного камня проводили соответствующими нанодобавками НТХ и УНТ при их дозировки $0,01\%$ от массы цемента, добавки предварительно вводили в воду затворения. Были отформованы для испытаний три типа систем: эталонная система – цемент – вода (Ц – В); модифицированные системы – Ц – В – НТХ и Ц – В – УНТ.

Физико-механические испытания на прочность проводили согласно ГОСТу 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» на универсальной 4-х колонной напольной гидравлической испытательной системе INSTRON Sates 1500HDS.

Гистограмма кинетики набора прочности цементного камня модифицированных и эталонной систем представлена на рисунке 1. Анализируя кинетику набора прочности цементного камня можно отметить, что в системе Ц – В наблюдается постепенное нарастание прочности, к 28 суткам твердения средняя прочность составляет $54,3$ МПа. В модифицированных цементных системах набор прочности идет более интенсивно.