

УДК 699.15:539.388.1

Ю. А. АВЕТИСЯН, В. Г. ГОРБАЧ, П. Ю. ВОЛОСЯВНИЧ

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТАЛИ X18H10T ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ С ЖЕСТКИМ НАГРУЖЕНИЕМ

Показано, что в аустенизированной стали X18H10T в результате циклической деформации с жестким нагружением (от 0,5 до 5%) при 20°C независимо от размера зерна происходят значительные структурные изменения: приблизительно на два порядка возрастает общая плотность дислокаций, увеличивается угол разориентировки фрагментов кристаллической решетки в 3—4 раза, наблюдается густая сетка линий скольжения нескольких направлений; образуется мелкозернистая структура, что приводит к значительному упрочнению металла—твердость по HV повышается в 2,5 раза, однако количество образующегося мартенсита деформации в мелкозернистых образцах намного больше, чем в крупнозернистых.

Ключевые слова: Табл. 1. Библиогр.: 4. назв.

Важно знать, что при аустенизации стали X18H10T независимо от размера зерна происходят значительные структурные изменения: приблизительно на два порядка возрастает общая плотность дислокаций, увеличивается угол разориентировки фрагментов кристаллической решетки в 3—4 раза, наблюдается густая сетка линий скольжения нескольких направлений; образуется мелкозернистая структура, что приводит к значительному упрочнению металла—твердость по HV повышается в 2,5 раза, однако количество образующегося мартенсита деформации в мелкозернистых образцах намного больше, чем в крупнозернистых.

Деформирование стальных образцов проводилось при 20°C на испытательной машине УМЭ-101 с электронным измерением и записью нагрузок и деформаций. Рентгенографические исследования с целью определения углов разориентировки между фрагментами кристаллической решетки проводились методом микропучков [1] на аппарате УРС-70 в цилиндрической микропучковой камере диаметром 40 мм в кобальтовом излучении с двумя диафрагмами  $d_1 = 2$  мм и  $d_2 = 0,08$  мм. Время экспозиции—13 ч. Уширение интерференционной линии (211) К измерялось на горизонтальном компараторе НЗВ-2. Рентгенографическое исследование проводилось на дифрактометре УРС-60 в камере КРОС. Данные обрабатывались методом математической статистики [2]. Алгоритм обработки экспериментального материала реализован на ЭВМ «Минск-22». Определение микроскопления кристаллической решетки производилось рентгеновским методом, основанном на анализе ширины и формы рентгеновских интерференционных линий [3].

Образцы из стали X18H10T (крупнозернистые— $d = 103$  мкм, HV = 1060 МПа, мелкозернистые— $d = 12$  мкм, HV = 1300 МПа) деформировали при следующих амплитудах:  $2A\epsilon = 0,5, 1, 2, 5\%$ . Наг

рузка, необходимая для циклической деформации при амплитуде  $2\Delta\varepsilon = 0.5\%$ , оказалась несколько ниже статического предела текучести, а при всех остальных амплитудах нагрузки были намного выше статического предела текучести.

Циклическая деформация с амплитудой  $2\Delta\varepsilon = 0.5\%$  даже при большом числе циклов ( $N = 500$ ) не приводит к видимым металлографически структурным изменениям. Электронно-микроскопически наблюдается некоторое увеличение плотности дислокаций, образование обрванных дислокационных границ и небольшого количества  $\alpha$ -мартенсита, а также одиночных и групповых дефектов упаковки. Анализ микроэлектроннограмм указывает на наличие  $\epsilon$ -фазы (метастабильная гексогональная фаза, известная как  $\epsilon$ -мартенсит). Рентгеновские исследования методом микропучков показывают, что угол разориентировки фрагментов кристаллической решетки по сравнению с исходным увеличивается незначительно (табл. 1), при аналогичном изменении твердости  $HV = 1510 \text{ МПа}$ .

Таблица 1  
Влияние амплитуды циклической деформации  
на реориентировку кристаллической решетки  
стали X18H10T

| Амплитуда деформации $2\Delta\varepsilon, \%$ | Число циклов $N$ | Угол разориентировки $\alpha, \text{ мин}$ |
|-----------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|
| Исходное состояние                            |                  | 28                                         |
| 0,5                                           | 50               | 34                                         |
| 0,5                                           | 500              | 31                                         |
| 1                                             | 50               | 45                                         |
| 1                                             | 2000             | 68                                         |
| 2                                             | 5                | 51                                         |
| 2                                             | 50               | 68                                         |
| 2                                             | 474              | 103                                        |
| 5                                             | 30               | 103                                        |
| 5                                             | 72               | Сплошная линия                             |

Исследуемая сталь X18H10T в исходном состоянии обладает средней по величине энергией дефекта упаковки  $(4-5) \cdot 10^{-6} \text{ Дж/см}^2$ , что соответствует литературным данным для промышленных сталей этого состава при  $20^\circ\text{C}$ . После испытания при  $2\Delta\varepsilon = 0.5\%$ ,  $N = 500$  циклов наблюдается некоторое снижение энергии дефектов упаковки, о чем свидетельствует увеличение величины расщепления как одиночных дислокаций, так и тройных дислокационных узлов, а также образование  $\epsilon$ -фазы.

При увеличении амплитуды циклической деформации, начиная с амплитуды  $2\Delta\varepsilon = 1\%$ , отчетливо проявляются структурные изменения

внутренних слоев металла. Наблюдается увеличение общей плотности дислокаций и образуется ячеистая структура, которая при малом числе циклов (5—10) выражена слабо, а при большом (2000) довольно отчетливо (рис. 1), хотя она образуется избирательно и очень неравномерно распределяется по образцу, в связи с чем можно выделить три разновидности структуры.



Рис. 1. Ячеистая структура, образовавшаяся после циклической деформации мелкозернистой стали X18H10T при 20°C ( $2\Delta\epsilon = 2\%$ ,  $N = 2000$  циклов),  $\times 2500$ .



Рис. 2. Микроструктура крупнозернистой стали X18H10T после циклической деформации при 20°C ( $2\Delta\epsilon = 2\%$ ,  $N = 1970$  циклов),  $\times 300$ .

В первом случае наблюдается незначительное возрастание плотности дислокаций с их постепенным группированием в скопления. Во втором случае плотность дислокаций и количество их скоплений возрастает, а в третьем случае обнаруживаются ячейки с высокой плотностью дефектов внутри. Угол разориентировки фрагментов кристаллической решетки по сравнению с исходным растет более чем в два раза (табл. 1). Деформационный мартенсит имеет дислокационный характер и образуется в незначительных количествах (1—2%), а твердость растет от  $HV = 1300 \text{ МПа}$  до  $HV = 1820 \text{ МПа}$ . При увеличении амплитуды до  $2\Delta\epsilon = 2\%$ , структурные изменения в стали X18H10T становятся видимыми металлографически — уже при небольшом числе циклов ( $N = 5$ ) видны следы деформации в некоторых зернах. Электронно-микроскопические исследования показывают, что при этом в некоторых зернах образуется ячеистая структура с размером ячеек от 0,8 до 2 мкм, угол разориентировки фрагментов кристаллической решетки растет почти в два раза (табл. 1). С увеличением числа циклов количество зерен, в которых наблюдаются следы циклической деформации, увеличивается. К моменту разрушения крупнозернистого образца при  $2\Delta\epsilon = 2\%$  и  $N = 1970$  циклов наблюдаются значительные структурные изменения.

Металлографически видны двойники деформации, разнообразные линии скольжения, мартенсит деформации (рис. 2), количество которого составляет 12%, неравномерность деформации сохраняется, увеличивается плотность дислокаций и образуется ячеистая структура с размерами ячеек от 0,5 до 1 мкм. Угол разориентировки фрагментов

кристаллической решетки увеличивается почти в 4 раза (табл. 1), о чем свидетельствует увеличение азимутального размытия рефлексов на электронограммах. Твердость растет в 2,5 раза, достигая до  $HV = 2440 \text{ МПа}$ .



Рис. 3. Образование дисперсной ячеистой структуры при циклической деформации крупнозернистой стали X18H10T при  $20^\circ\text{C}$  ( $2A_\varepsilon = 5\%$ ,  $N = 3$  цикла),  $25000\times$ .



Рис. 4. Образование пакетного мартенсита при циклической деформации крупнозернистой стали X18H10T при  $20^\circ\text{C}$  ( $2A_\varepsilon = 5\%$ ,  $N = 115$  циклов),  $25000\times$ .

Структурные изменения слабо зависят от размера зерен, но количество мартенсита деформации в мелкозернистых образцах при разрушении в 4 раза больше (46 %) и они выдерживают в 4 раза меньше циклов ( $N = 474$ ) по сравнению с крупнозернистыми ( $N = 1970$ ). Одновременно в мелкозернистых образцах увеличивается количество двойников деформации. При дальнейшем увеличении амплитуды деформации до  $2A_\varepsilon = 5\%$  структурные изменения наблюдаются еще при меньшем числе циклов нагружения. При  $N = 3$  цикла в отдельных зернах металлографически видны следы скольжения, увеличивается разориентировка между фрагментами кристаллической решетки, существенно возрастает плотность дислокаций, которая формирует очень мелкую структуру типа ячеистой с размерами ячеек  $0,5 \text{ мкм}$  и менее (рис. 3), а твердость увеличивается более чем в 1,5 раза. С увеличением числа циклов увеличивается число зерен, подвергнутых деформационным изменениям. Разориентировка фрагментов кристаллической решетки растет в 4 раза, увеличивается плотность дислокаций внутри ячеек (при  $N = 72$ ,  $\rho = 10^{10} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ) и образуется мартенсит деформации при ( $N = 35$ ,  $\alpha = 2\%$ ). Предельное число циклов до разрыва при амплитуде  $2A_\varepsilon = 5\%$  для крупнозернистых образцов составляет  $N = 115$  циклов. Внутренние слои образца независимо от размера зерна подвержены сильным структурным изменениям: отчетливо наблюдается густая сетка линий скольжения нескольких направлений, образуется ячеистая структура и видны пакеты ячеек, вытянутых в одном направлении. Во многих аустенитных зернах виден мартенсит деформации в виде пакетов (рис. 4), а также  $\varepsilon$ -фаза. Твердость растет в 2,5 раза, доходя до  $HV = 255 \text{ МПа}$ .

При этом количество мартенсита деформации при  $N = 70$  циклов в мелкозернистых образцах составляет 36%, а в крупнозернистых—4%.

Это свидетельствует о том, что границы зерен, являясь местами локальной концентрации микронапряжений, при циклической деформации играют важную роль в образовании мартенсита деформации. Отметим, что описанные выше структурные изменения имеют тот же характер, что и при мягком нагружении [4]. Полученные результаты могут использоваться при прогнозировании свойств и определении режимов эксплуатации изделий из стали X18H10T, работающих в условиях циклических нагружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. ... В. М. ... чная структура//УФМ.—М.: Металлургиздат.—1960.—1. 6—С. 283—316.
2. Гальперин С. Е. Теория вероятностей и механическая статистика.—М.: Высш. школа, 1972.—185 с.
3. Зенгерский А. В. Рентгенография в физическом металловедении.—М.: Металлургиздат, 1961.—368 с.
4. Аветисян Ю. А., Горбач В. Г., Волосевич Н. Ю., Мкртчян О. А. Структурные изменения стали X18H10T при циклическом деформировании с мягким нагружением//Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1988.—Т. XLII, № 5.—С. 11—16.

Ершн им. К. Маркса

20, XI, 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 5, 1989, с. 228—233

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 69.057.45

Р. А. КОТИКЯН, К. А. СААКЯН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБОВ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЯДЕР ЖЕСТКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Приводятся результаты исследования прогибов и трещиностойкости железобетонных ядер жесткости многоэтажных зданий при малоцикловом нагружении. Эксперименты показали, что предварительное малоцикловое нагружение моделей до 60 циклов при расчетной нагрузке практически не влияет на их несущую способность, но оказывает существенное влияние на прогибе верха и ширину раскрытия трещин. С увеличением числа циклов кривая прогибов претерпевает как качественное, так и количественное изменение. Прогиб верха увеличивается до 30%.

Ил. 2, Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Բերվում են բարձրահարկ շենքերի կոշտության միջուկների ճկվածքների և ճաքակտյունության փորձարարական հետազոտության արդյունքները սակավացիկային բեռնավորման դեպքում: Փորձերը ցույց են տվել, որ հաշվարկային բեռով սակավացիկային բեռնավորումը մինչև 60 ցիկլ չի փոքրացնում կոշտության միջուկների թափալող ուժը նրանց ստատիկ բեռնավորման դեպքում: Հաշվարկային բեռով սակավացիկային բեռնավորումը մինչև 60 ցիկլ