

В.В. Глебов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
Н.В. Федотова
НГПУ
Д.Е. Молдавский
ННГУ им Н.И. Лобачевского

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ДЕФОРМАЦИИ НА ХАРАКТЕР МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ 23X15H7M2

Показано, что деформация сжатием интенсифицирует процесс образования мартенсита по сравнению с деформацией растяжением. Растяжение способствует превращению $\gamma \rightarrow \alpha$ при деформации аустенита, а осадка вызывает превращение $\gamma \rightarrow \text{д.у.} \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$.

Известно, что на характер $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в значительной степени влияет структурное состояние метастабильного аустенита [1–3]. Так в [2,4–8] отмечается, что на характер мартенситного превращения влияют не только степень, но и способ деформации. Авторы работы [4] отмечали значительно более интенсивное образование мартенсита при растяжении по сравнению с прокаткой. При растяжении и осадке монокристаллов Fe – 23% Ni – 5%Cr большее выделение мартенсита наблюдалось при том или ином способе деформации в зависимости от кристаллографической ориентации оси образца [6].

В настоящей работе исследовалось влияние способа деформации (растяжения, сжатия) на образование мартенсита деформации в стали переходного класса марки 23X15H7M2 следующего химического состава, %: С 0,21; Cr 16,5; Ni 6,5; Mn 0,45; Si 1,03; P 0,022; Cu 0,2; Mo 2,2. Образцы изготавливались из проката \varnothing 70 мм, для растяжения использовались пятикратные образцы диаметром 10 мм, для сжатия – диаметром 10 мм и высотой 15 мм. Перед деформацией образцы проходили аустенизацию при 1100°C с последующим охлаждением в воде. Деформация проводилась на испытательной машине УММ-10 при комнатной температуре.

После деформации образцы исследовались методами: рентгеновским на установке УРС-50ИМ с использованием Fe K_{α} излучения, электронной микроскопии на микроскопах РЭМ-100 и УЭМВ-100К, а также магнитометрическим на магнитометре МАГ-62. Рентгеновские и микроструктурные исследования проводились на центральных продольных срезах образцов после стравливания наклепанного слоя и соответствующей подготовки поверхности. Исследование осаженных образцов проводилось в их центральной части, которая является областью всестороннего сжатия; край образца, где возникают растягивающие напряжения, не исследовался. Микроструктура для исследования на растровом микроскопе РЭМ-100 выявлялась химическим травлением. Фольги для исследования на просвечивающем микроскопе УЭМВ-100К готовились по стандартной методике из осаженных и растянутых образцов, деформированных соответственно на 15 и 20%. Такие степени деформации выбраны в связи с тем, что при осадке на 15% деформация в центре составляет 20% [9].

Результаты измерения процентного содержания мартенсита деформации, образовавшегося в стали 23X15H7M2 при растяжении и осадке, приведены в табл. 1. Ошибка в определении количества α -фазы магнитометрическим и рентгеновским методами составляла 1% [10].

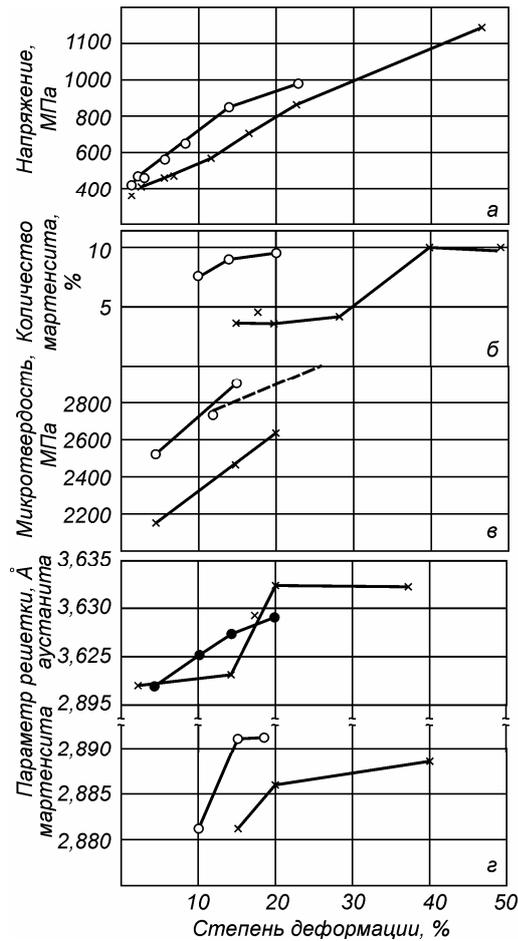


Рис. 1. Влияние способа деформации на упрочнение (а), фазовый состав (б), микротвердость (в), параметр решетки аустенита (в) и мартенсита деформации стали 23X15H7M2:
o – сжатие «с трением»; x – растяжение

Из рис. 1 видно, что при малых степенях деформации упрочнение при осадке больше, чем при растяжении.

Необходимо отметить, что при меньшей общей плотности, плотность краевых дислокаций при прокатке и осадке больше, чем при растяжении [8].

Таблица 1

Содержание мартенсита в стали 23X15H7M2 в зависимости от степени и способа деформации

Степень деформации (ε), %	Количество мартенсита при деформации, %	
	Осадкой	Растяжением
10	2	Нет
15	7	3
20	7	6
40	–	13
44	–	13

При разных способах деформации в стали 23X15H7M2 образуется разное количе-

ство мартенсита, причем большее количество мартенсита деформации соответствует осадке. В работе [10] большее упрочнение при осадке (до $\epsilon=15\%$) по сравнению с растяжением связывается с более интенсивным образованием мартенсита на начальных стадиях деформации.

Осадка приводит и к большему уширению рентгеновских линий (табл. 2).

Исследования микроструктуры стали 23X15H7M2 после растяжения и сжатия показали, что после растяжения ($\epsilon=3-5\%$) на шлифах выявляются следы полос сдвига в виде двух (редко трех) пересекающихся систем линий, тогда как после осадки в основном это одна система линий.

Таблица 2

Уширение линии (111) деформированного аустенита в зависимости от степени и способа деформации

Степень деформации (ϵ), %	Ширина линии (111) аустенита при деформации, рад.	
	растяжением	Осадкой
3	0,0063	0,0083
10	–	0,0087
15	0,0072	0,0096
20	0,0090	–

С ростом степени деформации в структуре появляются двойники и мартенсит деформации, пересекающие полосы сдвига; при растяжении и осадке в аустените образуется ячеистая структура (фиг. 1).

Существенное отличие в тонкой структуре осаженных и растянутых заключается в том, что при осадке возникают деформационные дефекты упаковки (д. у.), которые хорошо обнаруживаются по характерному полосчатому контрасту (рис. 2), тогда как в растянутых образцах д.у. не наблюдали.

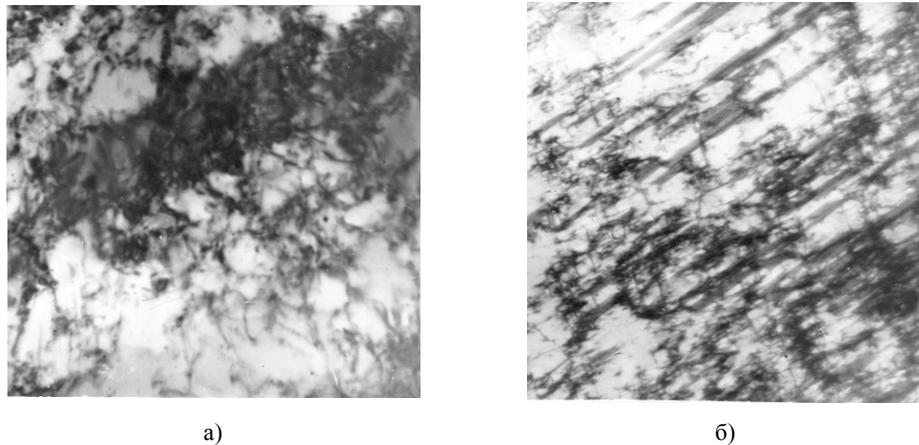


Рис. 2. Электронные микрофотографии структуры стали 23X15H7M2 после деформации растяжением (а), $\epsilon=20\%$ и сжатием «с трением» (б), $\epsilon=15\%$ ($\times 25000$)

Результаты измерения плотности деформационных д.у., полученные рентгеновским методом [15], приведены в табл. 3. Концентрация деформационных д.у. (С) определялась по формуле:

$$\Delta = \left[\frac{\sin \Theta(200)}{\sin \Theta(111)} \right]_{\text{недефор}} - \left[\frac{\sin \Theta(200)}{\sin \Theta(111)} \right]_{\text{деф}}$$

$C=8,3\Delta$

Таблица 3

Концентрация д.у. (C) в образцах, деформированных осадкой

Степень деформации (ϵ), %	Концентрация д.у., $C \cdot 10^2$
10	1,4
15	2,0
20	3,0

Рентгеновским методом, так же как и электронно-микроскопическими исследованиями, дефекты упаковки были обнаружены только в образцах, деформированных осадкой. На рис. 3 показана структура с деформационными дефектами упаковки, которые наблюдались в образцах после осадки, после растяжения подобной структуры не наблюдалось.

При прочих равных условиях количество мартенсита деформации может определяться плотностью дефектов упаковки, так как места пересечения д. у. между собой или с благоприятно ориентированными двойниками [11] являются зародышами мартенсита. По мере роста плотности д.у. склонность сталей к образованию мартенсита деформации растет [2,12,13]. Известно также, что пластическая деформация увеличивает вероятность образования д.у. [14].

В то же время растяжение способствует превращению $\gamma \rightarrow \alpha$ вследствие положительного объемного эффекта при превращении, а осадка (так же, как и гидростатическое давление) подавляет $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение [16] и вызывает превращение $\gamma \rightarrow \epsilon$ [16, 17].

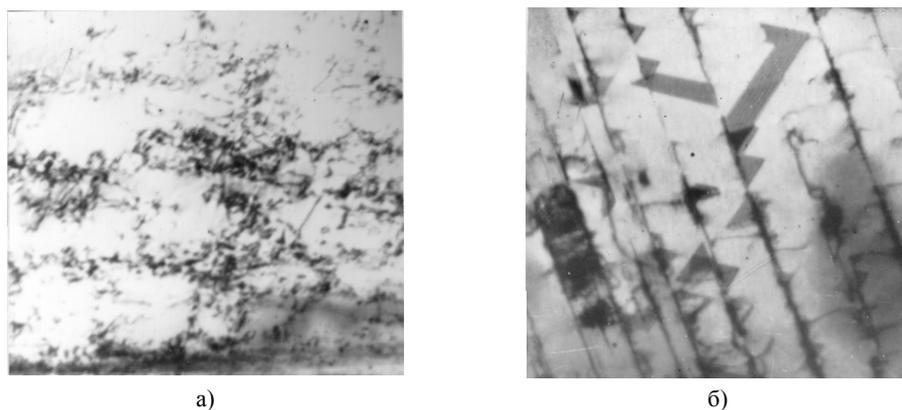


Рис. 3. Электронные микрофотографии структуры стали 23X15H7M2 после деформации растяжением (а), $\epsilon=20\%$ и сжатием «с трением» (б), $\epsilon=20\%$ ($\times 25000$)

Однако более медленное образование α -мартенсита при растяжении, по сравнению с осадкой, вероятно, связано с тем, что при растяжении создаются более благоприятные условия для микродвойникования, чем при осадке. Повышенная плотность микродвойников при растяжении затрудняет образование α -мартенсита.

Из результатов данной работы следует, что способ деформирования (растяжение, осадка) оказывает заметное влияние на кинетику мартенситного превращения при деформации стали 23X15H7M2.

Выводы. 1. В сжимаемых образцах стали 23X15H7M2 образование мартенсита деформации идет более интенсивно, чем в растягиваемых.

2. Влияние способа деформации на количество образующегося мартенсита деформации, возможно, связано с отличительными особенностями дислокационной структуры, формирующейся при деформации. После осадки стали 23X15H7M2 в структуре наблюдаются деформационные дефекты упаковки, тогда как в растянутых образцах дефекты упаковки не образуются.

Список литературы:

- [1] Замбрицкий В.Н., Максимова О.П., Грузин П.Л., Родионов Ю.Л., Утевский Л.М. и др., Влияние отжига на структуру аустенита и мартенситное превращение в сплаве железо-никель-молибден с изотермической кинетикой превращения. – Физ. металлов и металловед., 1980, т. 49, с. 776.
- [2] Глушеч А.М., Капуткина Л.М., Бернштейн М.Л., Влияние горячей деформации аустенита на образование мартенсита деформации в сталях. – Изв. Вузов, Черная металлургия, 1980, №5, с. 99.
- [3] Аветисян Ю.А., Волосевич П.Ю., Горбач В.Г., Кинетика образования мартенсита при циклической деформации. – В кн.: Мартенситные превращения, Киев: Наукова думка, 1979, с.171.
- [4] Бернштейн М.Л., Капуткина Л.М., Глушеч А.М., Панов Е.Д., Строение кристаллической решетки мартенсита, полученного деформацией метастабильной аустенитной стали 70X5Г4. – Физ. металлов и металловед., 1978, т.46, с.121.
- [5] Журавлев Л.Г., Штейнберг М.М., Черногорова О.П., Журавлева В.В., Образование мартенсита при различных видах деформации. – Сб. научн. тр. Челябинск. политехн. ин-та, 1979, №229, с. 66.
- [6] Kato M., Mory T., Stress Induced Martensite in Single Crystals, – Acta met., 1976, v. 24, №9, p.853; Kato M., Mory T., Orientations of Martensite Formed in Fe-23Ni-5Cr Crystals under Uniaxial Stress Along [001]. – Acta met., 1977, v. 25, №8, p. 951.
- [7] Garofalo F., Wriedt H.W., Density Change in an Austenitic Stainless Steel Deformed in Tension or Compression. – Acta met., 1962, v. 10, №11, p. 1007.
- [8] Precht W., The Change of Mechanical and Physical Properties of Alpha-Iron due to Tension, Compression, Torsion and Rolling. – Bull. Acad. Polon. Sci., Ser. Techn., 1966, v. 14, №2, p. 171.
- [9] Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Неравномерность деформации при ковке, М., Металлургия, 1969, с. 45.
- [10] Молдавский Д.Ф., Федотова Н.В., Пермитин В.Е., Каленихин Ю.Н., Образование мартенсита в стали переходного класса при деформации. – МиТОМ, 1984, №1, с. 61.
- [11] Бернштейн М.Л., Капуткина Л.М., Глушеч А.М., Астахов С.И., Влияние деформации на мартенситное превращение и строение мартенсита в высокоуглеродистых сталях. – Физ. металлов и металловед., 1977, т. 43, с. 152.
- [12] Носкова Н.И., Малышев К.А., О влиянии дефектов упаковки на образование мартенсита деформации. – Физ. металлов и металловед., 1979, т. 48, с. 872.
- [13] Вишняков Я.Д., Файнштейн Г.С., Схема возможного циклического образования структур при пластической деформации сталей с низкой энергией дефектов упаковки. – Физ. металлов и металловед., 1981, т. 52, с. 667.
- [14] Вишняков Я.Д., Дефекты упаковки в кристаллической структуре, М., Металлургия, 1970, с. 215.
- [15] Русаков А.А., Рентгенография металлов, М., Атомиздат, 1977, с. 338.
- [16] Косенко Н.С., Ройтбурд А.Л., Хандрос Л.Г., Влияние внешнего напряжения на термодинамику и структуру продуктов мартенситного превращения. – В кн.: Мартенситные превращения, Киев, Наукова думка, 1978, с. 74.
- [17] Малинен П.А., Мельников Л.А., Садовский В.Д., Изменение типа мартенситного превращения в хромоникелевой стали под воздействием высокого давления и импульсного магнитного поля. – Металлофизика, 1974, вып. 54, с. 78.
- [18] Панкова М.П., Утевский Л.М., Кристаллография мартенситного превращения при небольших пластических деформациях растяжением и сжатием высоконикелевых сталей. – В кн.: Мартенситные превращения, Киев, Наукова думка, 1978, с. 79.