

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 01X17H13M3**

Мельников Е.В.<sup>1)</sup>, Кошовкина В.С.<sup>2)</sup>, Москвина В.А.<sup>2)</sup>

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. Астафурова Е.Г.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

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

<sup>2)</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

**INFLUENCE OF TEMPERATURE OF PLASTIC DEFORMATION ON STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL Fe-17Cr-13Ni-3Mo-0.01C**

Melnikov E.V.<sup>1)</sup>, Koshovkina V.S.<sup>2)</sup>, Moskvina V.A.<sup>2)</sup>

Scientific supervisor: assistant professor, doctor of sciences (Phys & Math) Astafurova E.G.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia,

Tomsk, Akademicheskyy str. 2/4, 634055

<sup>2)</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

*Rolling provides the refinement of the structure, formation of a high volume fraction of twin boundaries and increase of the strength properties of steel Fe-17Cr-13Ni-3Mo-0.01C. Reducing in deformation temperature increases the density of twin boundaries in the structure and causes an additional strengthening, while not contributes to appreciable amount  $\alpha'$ - and  $\varepsilon$ -martensite phases.*

**Введение.** Перспективным направлением повышения прочностных свойств многих сплавов считается создание в них наноструктурных состояний, обладающих целым рядом уникальных физико-механических свойств. Одним из методов, позволяющих достичь таких состояний в сталях с низкой энергией дефекта упаковки, может выступить холодная прокатка до больших степеней деформации, которая обеспечит развитие фазовых превращений и механического двойникования [1]. Понижение температуры деформирования может способствовать более активному формированию двойниковых границ и/или объемной доли мартенсита и формированию наноструктурного состояния в сталях.

Цель работы – установить влияние температуры пластической деформации методом плоской прокатки на структуру, фазовый состав и механические свойства аустенитной стали 01X17H13M3.

**Материалы и методы исследования.** Образцы для испытаний в форме прямоугольных пластин с размерами  $15 \times 10 \times 1.5$  мм<sup>3</sup> вырезали из заготовок стали 01X17H13M3 (закалка от 1100 °С) промышленной выплавки с использованием электроискровой резки. Затем образцы подвергали химической чистке, механической шлифовке и электролитической полировке. Пластическую деформацию до степеней обжатия ( $\varepsilon$ ) 25-90% проводили на вальцах настольных электромеханических В-51. Образцы прокатывали при комнатной температуре (Т=300 К) – режим I, а также охлаждали до температуры жидкого азота (Т=77 К) перед каждым циклом прокатки – режим II. Образцы для растяжения вырезали в форме двойных лопаток

из прокатанных заготовок. Механические свойства образцов исследовали на испытательной машине Instron 3369 (одноосное статистическое растяжение) при комнатной температуре со скоростью  $4.2 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с механической нагрузкой  $P=200 \text{ г}$ . Зеренную и дефектную структуру изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) с использованием сканирующих электронных микроскопов Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG при ускоряющем напряжении 30 кВ и просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами. Исследования фазового состава и структурных параметров стали проводили на дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Rigaku Ultima IV.

**Результаты исследования.** Исходная структура исследуемой стали 01X17H13M3 – аустенит с параметром решетки  $a=3.6028 \text{ \AA}$ , размер областей когерентного рассеяния (ОКР) составляет  $>200 \text{ нм}$ , микродеформация кристаллической решетки –  $7.3 \times 10^{-4}$ .

Рентгенофазовый анализ образцов показал, что после пластической деформации независимо от режима обработки не происходит фазовых  $\gamma-\alpha'$ ,  $\gamma-\epsilon$  превращений, на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от  $\gamma$ -фазы. Интенсивность пиков уменьшается с увеличением степени деформации, а их ширина увеличивается. Из анализа рентгенограмм следует, что размеры ОКР уменьшаются с деформацией до нескольких десятков нанометров, а микродеформация кристаллической решетки возрастает до величин  $\sim 10^{-3}$ . При деформации параметр решетки стали изменяется незначительно. Микронапряжения второго рода ( $\sigma_{II}$ ), возникающие в образцах стали после прокатки, возрастают с увеличением степени деформации и с понижением температуры прокатки. Все это свидетельствует о деформации и фрагментации структуры, повышении внутренних напряжений.

В образцах, прокатанных по режиму II, методом магнитофазового анализа была обнаружена небольшая доля  $\alpha'$ -мартенситной фазы (меньше 5%), а электронно-микроскопически наблюдали образование  $\epsilon$ -мартенсита в структуре стали, прокатанной по обоим использованным в работе режимам.

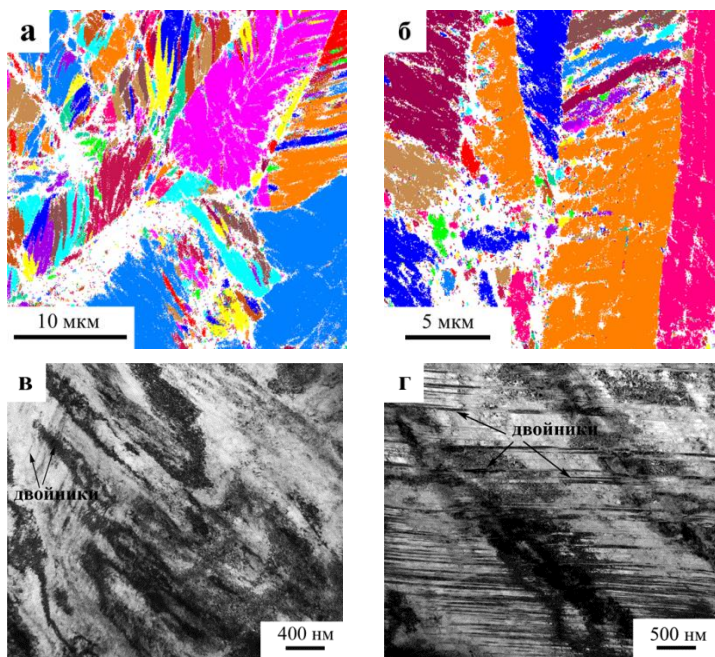


Рис. 1. Данные ДОЭ-анализа (а, б) и ПЭМ-изображения (в, г) стали 01X17H13M3,  $\epsilon=50\%$ : режим I (а, в); режим II (б, г).

Анализ ДОЭ-картин и ПЭМ-изображений (рис. 1) показал, что наблюдается фрагментация исходных аустенитных зерен и структура аустенита после прокатки имеет ориентированный характер – реализуется деформация механическим двойникованием и происходит формирование полос локализованного течения различного масштаба. Электронно-микроскопические данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что с увеличением степени деформации и понижением температуры прокатки происходит уменьшение толщины двойниковых пластин ( $t$ ), возрастает линейная плотность двойниковых гра-

ниц ( $\rho_{tw}$ ) и плотность дислокаций ( $\rho$ ), что способствует большей фрагментации структуры и повышению прочностных характеристик стали 01X17H13M3 (табл.1).

Таблица 1

Характеристика микроструктуры и механические свойства стали 01X17H13M3 до и после прокатки по разным режимам.

	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\rho$ , $M^{-2}$	$\rho_{tw}$ , $M^{-1}$	$\sigma_p$ , МПа	t, нм
исх.сост.	340	595	54	$\sim 10^{12}$	$\sim 10^4$	–	–
300К, $\varepsilon=25\%$	–	–	–	$0,4 \times 10^{15}$	$2 \times 10^6$ ( $16 \times 10^{6*}$ )	370	96–149 (18–26*)
300К, $\varepsilon=50\%$	1080	1155	9	$1,0 \times 10^{15}$	$8 \times 10^6$	590	50
77К, $\varepsilon=25\%$	–	–	–	$0,7 \times 10^{15}$	$7 \times 10^6$ ( $12 \times 10^{6*}$ )	480	22 (30*)
77К, $\varepsilon=50\%$	1200	1260	7	$1,0 \times 10^{15}$	$10 \times 10^6$	590	30

\* в отдельных зернах, наиболее благоприятно ориентированных для двойникования.

Анализ кривых течения показал, что деформационная обработка приводит к упрочнению стали. Прокатка ( $\varepsilon=50\%$ ) приводит к упрочнению стали и повышению  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_B$  до 1040, 1150 МПа (режим I) и до 1160, 1250 МПа (режим II) соответственно, при этом пластичность снижается в 6 раз (табл. 1). Значения микротвердости после пластической деформации ( $\varepsilon=90\%$ ) так же выросли с 2.07 ГПа (в исходном состоянии) до 3.9 ГПа (режим I) и 4.3 ГПа (режим II).

#### Выводы:

1. Деформационная обработка стали 01X17H13M3 прокаткой приводит к формированию разориентированной зеренно-субзеренной структуры с высокой долей двойниковых границ. Основными механизмами деформации выступают дислокационное скольжение, механическое двойникование и образование полос локализованной деформации. Понижение температуры прокатки и увеличение степени осадки способствует росту линейной плотности двойниковых границ.
2. Независимо от температуры прокатки, на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от  $\gamma$ -фазы, т.е. прокатка не способствует появлению заметного количества  $\varepsilon$  и  $\alpha'$ -мартенсита, но методом магнитофазового анализа было обнаружено формирование небольшой доли  $\alpha'$ -мартенситной фазы в образцах, прокатанных при температуре жидкого азота. Электронно-микроскопически наблюдали образование  $\varepsilon$ -мартенсита в структуре стали, прокатанной при обеих исследуемых температурах.
3. Измельчение зерна, накопление дефектов кристаллического строения и рост внутренних напряжений приводят к увеличению её прочностных характеристик. Понижение температуры прокатки вызывает большие эффекты упрочнения, что вызвано увеличением плотности двойниковых границ и фазовыми переходами, активируемыми при температуре деформации 77 К.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. И.Ю. Литовченко, А.Н. Тюменцев, Н.В. Шевченко, А.В. Корзников. Эволюция структурно-фазовых состояний при больших пластических деформациях аустенитной стали 17Cr–14Ni–2Mo // ФММ. – 2011. – Т.112. – №4. – С.436–448.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке стипендии Президента (СП-419.2015.1).