

**МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ
СТАЛИ ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

С.А. Аккузин

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент И.Ю. Литовченко
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: s.a.akkuzin@gmail.com

**MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STABLE AUSTENITIC STEEL
AFTER THERMOMECHANICAL TREATMENT**

S.A. Akkuzin

Scientific Supervisor: PhD. I.Yu. Litovchenko
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: s.a.akkuzin@gmail.com

***Abstract.** The features of microstructure and mechanical properties of stable austenitic steel after thermomechanical treatment consist of low-temperature deformation, warm deformation and subsequent annealing have been investigated. It is shown that under these conditions in the steel direct ($\gamma \rightarrow \alpha'$)- and inverse ($\alpha' \rightarrow \gamma$)-martensitic transformations are realized. As a result of the thermomechanical treatment submicrocrystalline structural states with a high density of micro- and nanotwins and localized deformation bands are formed. The yield strength of these structural states more than 3 times increases by the original value.*

Введение. В настоящее время в метастабильных аустенитных сталях показана возможность формирования субмикро- и нанокристаллических структурных состояний в процессе прямых ($\gamma \rightarrow \alpha'$)- и последующих обратных ($\alpha' \rightarrow \gamma$)-мартенситных превращений после различных термомеханических обработок (ТМО) [1–2]. Указанные ТМО обеспечивают повышение (в несколько раз) прочностных свойств метастабильных аустенитных сталей [3]. Характерной особенностью полученного структурного состояния после ТМО является ламельный субмикроструктурный аустенит с микро- и нанодвойниками деформации [1–2].

Возможность формирования субмикро- и нанокристаллических структурных состояний в стабильных аустенитных сталях в условиях ТМО сочетающих низкотемпературную и теплую деформацию изучены относительно мало. В связи с этим, целью настоящего исследования является изучение влияния термомеханической обработки на микроструктуру и механические свойства стабильной аустенитной стали.

Материалы и методы исследования. В настоящей работе исследована хромоникелевая стабильная аустенитная сталь 02X17H14M3 после ТМО. Исходное состояние (~ 100 % аустенита) получено закалкой $T = 1100$ °С, 1 час. В этом состоянии в стали наблюдается ячеистая дислокационная субструктура; средний размер зерна аустенита ~ 40 мкм. Исходный размер образцов ~ 30×20×11 мм.

ТМО проводили в три этапа: низкотемпературная деформация, последующий теплая деформация и завершающий отжиг. Низкотемпературную деформацию осуществляли прокаткой вблизи температуры

жидкого азота ($T = -196\text{ }^{\circ}\text{C}$) в несколько проходов с общей степенью деформации $\varepsilon \approx 20\%$. Последующая теплая деформация проводилась при температуре $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ за два прохода с общей степенью деформации $\varepsilon \approx 40\%$. Завершающий отжиг осуществляли при $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 с.

Дефектную структуру изучали методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа (РСА). Механические испытания осуществляли методом активного растяжения с использованием образцов в форме двойных лопаток с размерами рабочей части $13 \times 2 \times 1$ мм.

Результаты. РСА показал, что низкотемпературная деформация $\varepsilon \approx 20\%$ аустенитной стали 02X17N14M3 приводит к формированию до $\approx 7\%$ объемной доли α' -мартенсита, что в 7–8 раз меньше по сравнению с объемной долей мартенсита после низкотемпературной прокатки метастабильной аустенитной стали 08X18N10T [1–3].

После низкотемпературной прокатки наблюдается преимущественно субмикроструктурная аустенитная структура с высокой плотностью микро- и нанодвойников деформации и небольшим количеством пластин α' -мартенсита. Микро- и нанодвойники залегают в нескольких плоскостях двойникования. Встречаются области с множеством нанодвойников с размером пластинок ≈ 50 нм (рис. 1) в ширину, а также области с высокой плотностью дислокаций и дефектов упаковки.

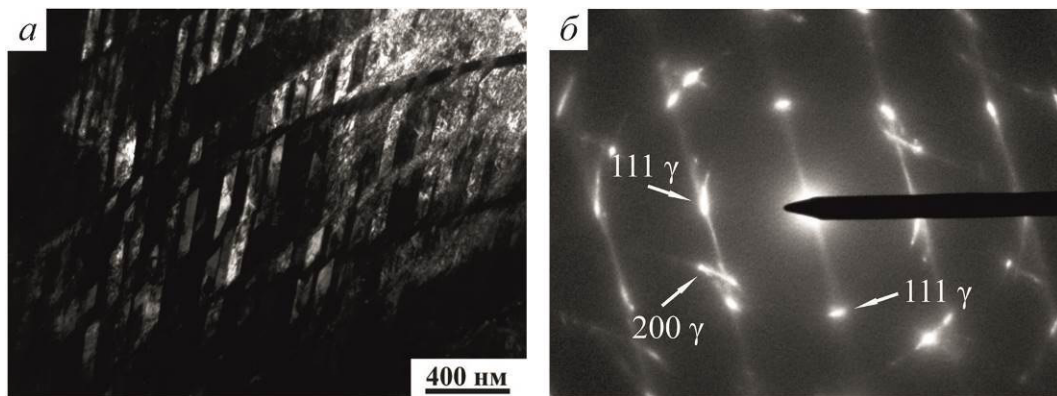


Рис. 1. Микроструктура стали 02X17N14M3 после низкотемпературной деформации:
а) темнопольное изображение, снятое в рефлексе $g = [200] \gamma$; б) соответствующая дифракционная картина к а)

Указанное структурное состояние обеспечивает высокие прочностные свойства стали: предел текучести $\sigma_{0,1} \approx 933 - 1047$ МПа, предел прочности $\sigma_B \approx 1065 - 1214$ МПа и пластичность $\delta \approx 7 - 9,3\%$. Полученные предел текучести и пластичность сравнимы с прочностными свойствами стали 08X18N10T после низкотемпературной прокатки, в которой содержание α' -мартенсита $\approx 54\%$.

Последующая деформация при температуре $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к повышению предела текучести до $\approx 1044 - 1150$ МПа. При этом пластичность составляет $\delta \approx 6,3 - 8\%$, а объемное содержание мартенсита уменьшается до $\approx 1,7\%$. В этой структуре сохраняются микро- и нанодвойники, наследованные после низкотемпературной деформации (рис. 2).

Особенностью структуры является наличие полос локализации деформации (ПЛД), которые формируются в микродвойниковой структуре аустенита. Внутри ПЛД были обнаружены наноразмерные ламели α' -мартенсита и аустенита [4]. Предполагается, что повышение предела текучести до 1150 МПа связано с особенностью микроструктуры, содержащей высокую плотность двойников и ПЛД.

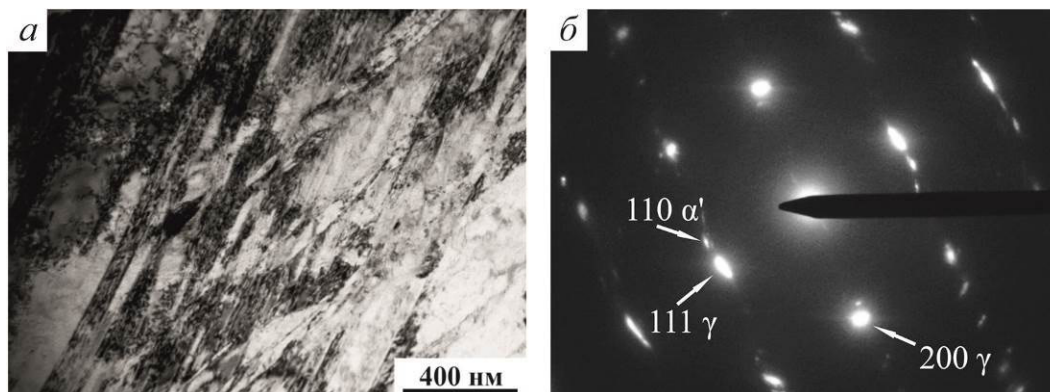


Рис. 2. Микроструктура стали 02X17H14M3 после низкотемпературной и последующей теплой деформации при $T = 600$ °С: а) светлопольное изображение; б) соответствующая дифракционная картина к а)

После финального отжига при $T = 800$ °С сформированные в процессе теплой деформации ПЛД с наноразмерными ламелями α' -мартенсита и аустенита в структуре не обнаруживаются. Предполагается, что в процессе отжига фрагменты ПЛД трансформируются в равноосные зерна аустенита. Кроме того, с помощью отжига при $T = 800$ °С удастся повысить значение пластичности до 16 %. Однако с повышением пластичности наблюдается снижение предела текучести до $\sigma_{0,1} \approx 867 - 890$ МПа.

Заключение. В результате ТМО с низкотемпературной и последующей теплой деформацией в стабильной аустенитной стали 02X17H14M3 были сформированы субмикроструктурные состояния с высокой плотностью микро- и нанодвойников деформаций, ПЛД и объемным содержанием аустенита до ≈ 99 %. В формировании указанных состояний участвуют прямые ($\gamma \rightarrow \alpha'$)- и обратные ($\alpha' \rightarrow \gamma$)-мартенситные превращения. Эти особенности микроструктуры обеспечивают повышение предела текучести стали более чем в 3 раза по сравнению с исходными значениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N., Naiden E.P. The features of microstructure and mechanical properties of metastable austenitic steel subjected to low-temperature and subsequent warm deformation // Russian Physics Journal. – 2016. – V. 59. – № 6. – P. 782–787.
- 2 Akkuzin S.A., Litovchenko I.Yu., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N. Effect of thermomechanical treatment modes on structural-phase states and mechanical properties of metastable austenitic steel // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1783. – P. 020001-1-020001-4.
- 3 Пат. 2598744 РФ. МПК C21D8/00, C21D6/04, C21D6/00, C21D7/13. Способ термомеханической обработки метастабильной аустенитной стали / И.Ю. Литовченко, А.Н. Тюменцев, С.А. Аккузин, Н.А. Полехина. Заявлено 24.06.2015; Опубл. 06.09.2016.
- 4 Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N. Features of deformation localization in stable austenitic steel under thermomechanical treatment // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1783. – P. 020134-1-020134-4.