

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ СТАЛИ 08X18H10T

Новикова Н.Н., Угурчиев У.Х.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия*

Ключевые слова: сталь, прокатка, микроструктура, фазовые превращения, мартенсит, аустенит.

Аннотация. Холоднокатаные аустенитные нержавеющие стали получили широкое применение в различных отраслях промышленности, где материалы подвергаются постоянным нагрузкам и высоким давлениям. При холодной прокатке металл подвергается значительным пластическим деформациям. Последовательное обжатие металла между валками вызывает наклеп за счет увеличения плотности дислокаций и формирования определенной кристаллографической текстуры. В работе рассмотрены структурно-фазовые превращения и образование значительного объема нежелательной ферромагнитной фазы (α' -мартенсит) в процессе пластического деформирования стали марки 08X18H10T.

STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS DURING ROLLING OF 08X18H10T STEEL

Novikova N.N., Ugurchiev U.Kh.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Keywords: steel, rolling, microstructure, phase transformations, martensite, austenite.

Abstract. Cold-rolled austenitic stainless steels are widely used in various industries where materials are subjected to constant loads and high pressures. During cold rolling, the metal undergoes significant plastic deformation. The successive compression of the metal between the rollers causes work hardening due to increased dislocation density and the formation of a specific crystallographic texture. The paper examines structural-phase transformations and the formation of a significant volume of undesirable ferromagnetic phase (α' -martensite) during the plastic deformation of 08X18H10T steel.

Аустенитные нержавеющие стали (АНС) широко применяются в энергетическом, химическом, пищевом, а также в нефтегазодобывающем секторах промышленности. Процесс пластической деформации данных материалов [1, 2] сопровождается образованием структурных дефектов и, в ряде случаев, фазовыми превращениями $\gamma \rightarrow \varepsilon$ и $\gamma \rightarrow \alpha'$. При этом ε -мартенсит является промежуточной фазой, с увеличением степени деформации эта фаза не наблюдается. Формирование α' -фазы оказывает негативное влияние на эксплуатационные характеристики АНС, активируя магнитную восприимчивость стали.

Целью данной работы является установление особенностей структурно-фазовых превращений при холодной симметричной продольной прокатке образцов аустенитной нержавеющей стали Fe-18Cr-10Ni-1,67Mn-0,5Ti-0,34Si-0,08C-0,032P (08X18H10T).

Материалом для экспериментальных исследований послужила промышленная аустенитная нержавеющая сталь 08X18H10T хромоникелевого класса, полученная промышленным способом. Для формирования стабильной аустенитной микроструктуры образцы из этой стали были подвергнуты термическому воздействию при температуре 1100°C в течение часа, после чего осуществлялась их закалка в воде комнатной температуры.

Испытательные образцы в виде прямоугольных пластинок $2 \times 10 \times 15$ мм³ были получены методом электроискровой резки. Затем проводилась механическая шлифовка и электролитическая полировка.

Процесс многоходовой прокатки стали 08X18H10T до степеней обжатия (ϵ) 25-85% проводился при температуре 27°C. Степень обжатия (деформации) рассчитывали как $\epsilon = ((h_1 - h_0)/h_0) \cdot 100\%$, где h_0 и h_1 – толщина пластины до и после прокатки. Деформация при одном проходе образцов через валки прокатного стана составляла $\approx 2,5\%$. После прокатки по толщине микроструктура и фазовый состав образцов претерпели незначительные изменения.

Для рентгеноструктурного анализа элементного состава микроструктуры образцов, полученных из прокатанных тонких пластин, ориентации кристаллов и фазовых сдвигов применялись: рентгеновский дифрактометр Seifert XRD 3000 и микроскоп JEM-2100. Изменение удельной намагниченности α' -фазы после испытаний контролировалось на установке «Магнитометр Н-04». Для определения механических характеристик прочности и пластичности при нормальной температуре в соответствии с рекомендациями ГОСТ 1497-2023 проводились механические испытания на электромеханической горизонтальной разрывной машине ИР-5081-20 на одноосное растяжение образцов, вырезанных пропорционально из прокатанных пластин (ГОСТ 1497-84).

Первоначальная микроструктура закаленного стального образца представляла собой аустенитную структуру с усредненным размером зерен 15 мкм. В результате деформации прокаткой с обжатием 50% в материале развилась структура, характеризующаяся высокой степенью разориентировки субзерен, значительным ростом плотности дислокаций, появлением деформационных двойников, а также формированием субграниц и полос локализованной пластической деформации (рис. 1, а).

Активация фазового превращения $\gamma \rightarrow \alpha'$ в стали марки 08X18H10T в процессе прокатки подтверждается наличием рефлексов обеих фаз, которые зафиксированы на микродифракционной картине (рис. 1, б), полученной методом просвечивающей электронной микроскопии с использованием установки JEM-2100. Определено, что средний размер двухфазной структуры ($\gamma + \alpha'$) равняется 150 нм, при этом средний размер фрагментов α' -фазы - 80 нм. В исследуемой структуре наблюдается высокая плотность дислокаций $\rho = 1 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$, а также присутствуют деформационные двойники (толщина пластин $u = 15'25$ нм с межпластинным расстоянием = 25,50 нм). Создания полностью разориентированной ультрамелкозернистой структуры в данных условиях не происходит.

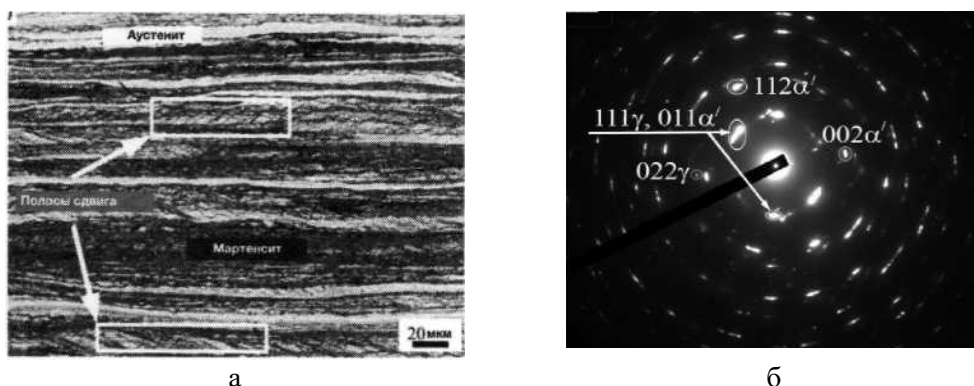


Рис. 1. Изображение микроструктуры (а) и соответствующая ему микродифракционная картина (б) стали 08X18H10T после прокатки (обжатие 50 %)

Графический анализ (рис. 2) (пошаговое сканирование по углу 2θ , θ – угол дифракции, e – истинная деформация (при прокатке $e = (2\sqrt{3}) \ln(h_n / h_k)$, где h_n и h_k – начальная и конечная толщина пластины) подтверждает, что объемная доля мартенсита возрастает с увеличением степени обжатия [3].

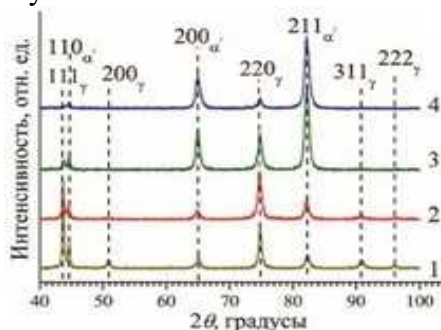


Рис. 2. Рентгенограммы для образцов стали 08X18H10T и зависимости содержания α' -фазы от истинной деформации при прокатке с различными величинами обжатия: 1 – 25%, 2 – 50%, 3 – 75%, 4 – 85%

В исходном закаленном состоянии сталь 08X18H10T обладает микротвердостью порядка 1,8 ГПа и демонстрирует умеренные прочностные характеристики: условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 355$ МПа и предел прочности $\sigma_B = 610$ МПа. При этом материал сохраняет высокий запас пластичности, о чем свидетельствует относительное удлинение $\delta = 73\%$ (рис. 3).

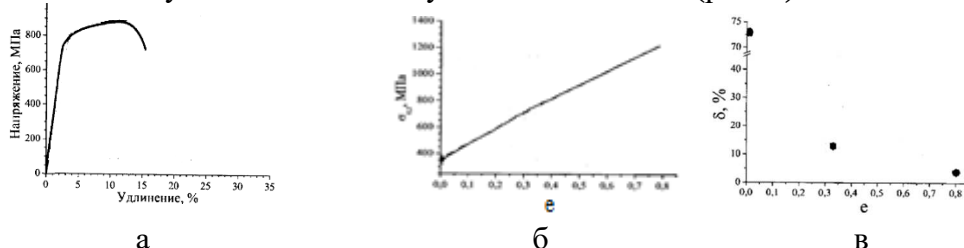


Рис. 3. Диаграмма растяжения (а) и зависимости условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ (б) и удлинения δ (в) стали 08X18H10T

Выводы

В процессе продольной холодной прокатки стальной полосы марки 08X18H10T вследствие пластической деформации происходит значительное увеличение объемной доли магнитной α' -фазы.

Во всех случаях объемное содержание α' -мартенсита возрастает с увеличением степени деформации. Кроме того, интенсификация мартенситного превращения приводит к снижению общей коррозионной стойкости изделий и повышению их предрасположенности к хрупкому разрушению при эксплуатации в условиях отрицательных температур.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств Государственного задания, код (шифр) научной темы, присвоенный учредителем (организацией) FFGU – 2026 – 0003. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

1. Орлов Г.А. Основы теории прокатки и волочения труб: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 204 с.
2. Лежнев С.Н. Теоретические основы обработки металлов давлением: учебное пособие. – Темиртау: КГИУ, 2013. – 124 с.
3. Mumtaz K., Takahashi S., Echigoya J., Kamada Y., Zhang L.F., Kikuchi H., Ara K., Sato M. Magnetic measurements of martensitic transformation in austenitic stainless steel after room temperature rolling // Journal of Materials Science. 2004, vol. 39, pp. 85-97. DOI: 10.1023/b:jmsc.0000007731.38154.e1.

References

1. Orlov G.A. Basics of the theory of rolling and drawing pipes: textbook. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2016. – 204 p.
2. Lezhnev S.N. Theoretical foundations of metal forming: a tutorial. – Temirtau: KSIU, 2013. – 124 p.
3. Mumtaz K., Takahashi S., Echigoya J., Kamada Y., Zhang L.F., Kikuchi H., Ara K., Sato M. Magnetic measurements of martensitic transformation in austenitic stainless steel after room temperature rolling // Journal of Materials Science. 2004, vol. 39, pp. 85-97. DOI: 10.1023/b:jmsc.0000007731.38154.e1.

Новикова Наталия Николаевна – научный сотрудник	Novikiva Natalia Nikolaevna – researcher
Угучиев Умар Хажбикарович – научный сотрудник	Ugurchiev Umar Khazbikarovich – researcher
natalnn3@mail.ru	

Received 26.08.2026