

В. Н. Цуцкиридзе, В. Ф. Петрова

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ
НА МИКРОСТРУКТУРУ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ
ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: tm@vstu.ru

Исследовано влияние степени деформации на микроструктуру трубной заготовки из стали 08X18N10T, полученной ковкой и прокаткой (степени деформации 45 и 13 % соответственно). Установлено, что горячая деформация вызывает измельчение зерна аустенита и приводит к выделению большего количества карбидной фазы по границам зерен.

Ключевые слова: аустенитная сталь, микроструктура, размер зерна, динамическая рекристаллизация.

V. N. Tsutskiridze, V. F. Petrova

**THE EFFECT OF THE DEGREE OF DEFORMATION
ON THE MICROSTRUCTURE
OF THE AUSTENITIC STAINLESS STEEL PIPE BILLET**

Volgograd State Technical University

The influence of the degree of deformation on the microstructure of a tube billet made of 08X18N10T steel obtained by forging and rolling (degrees of deformation of 45 and 13%, respectively) is investigated. It is established that hot deformation causes grinding of austenite grains and leads to the release of a larger amount of the carbide phase along the grain boundaries.

Keywords: austenitic steel, microstructure, grain size, structure formation, dynamic recrystallization.

Введение

Трубные заготовки из аустенитных коррозионностойких сталей широко используются в химической промышленности, машиностроении, атомной, химической, нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности. Процесс

производства полуфабрикатов и конечной продукции из этих сталей включает этап горячей деформации прокаткой, ковкой или экструзией.

Известно, что горячая деформация металлических материалов сопровождается процессами разупрочнения: динамическим возвратом

и, при определенных условиях, динамической рекристаллизацией [1–4; 13–14]. Конкретный механизм динамического разупрочнения зависит от температуры, величины и скорости деформации, а также от таких характеристик материала, как размер зерен, энергия дефектов упаковки и наличие в структуре дисперсных выделений. Аустенитные коррозионностойкие стали имеют низкую энергию дефектов упаковки [7]. Это обстоятельство, затрудняя поперечное скольжение и переползание дислокаций, тормозит процессы динамического возврата и способствует быстрому накоплению критической плотности дислокаций, необходимой для начала динамической рекристаллизации. В свою очередь, полное прохождение динамической рекристаллизации способно обеспечить существенное измельчение исходной крупнозернистой структуры в процессе горячей прокатки [5].

В сталях AISI 321 (08X18H10T) добавки титана предотвращают выделения карбидов хрома по границам зерен аустенита и тем самым уменьшают склонность к межкристаллитной коррозии. Кроме того, выделяющиеся карбиды титана могут значительно задерживать рекристаллизационные процессы.

Осуществление деформации по оптимальному или неоптимальному температурно-деформационному режиму может привести к образованию разнотернистой или однородной структуры, получению устойчивой и развитой субструктуры. Контроль упрочнения (наклепа) и разупрочнения (статическая, динамическая и метадинамическая рекристаллизация) при го-

рячей деформации являются основным механизмом регулирования процессов структурообразования.

Таким образом, целью исследования являлась оценка влияния деформации на микроструктуру и размер зерна аустенита коррозионностойкой стали.

Материал и методика исследования

Материалом данного исследования являются образцы из стали марки 08X18H10T, вырезанные из трубной заготовки, полученной после различных технологических переделов.

Исходная непрерывнолитая заготовка диаметром 184 мм подвергалась прокатке до диаметра 160 мм со степенью деформации 13 % (образец № 1). Другая заготовка диаметром 350 мм подвергалась ковке до диаметра 190 мм со степенью деформации 45 % (образец № 2).

Анализ химического состава проводился на оптико-эмиссионном спектрометре Foundry-Master 01Q0181 по ГОСТ 27809–95 [15].

Микроструктуру образцов выявляли электролитическим травлением полированных образцов в 10 % водном растворе щавелевой кислоты. Исследование микроструктуры проводилось методами оптической микроскопии на LeicaDMi8 и МИМ-8м при увеличениях 250 и 1000 крат соответственно.

Размер зерна определяли по ГОСТ 5639–82 [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ химического состава стали исследуемых образцов двух плавок представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов

Номер образца	Массовая доля элемента, %								
	C	Ni	Cr	Ti	Cu	Mn	Si	P	S
По ГОСТ 5632–2014	≤0,08	9,0–11,0	17,0–19,0	0,5–0,7	не более				
					0,30	2,00	0,80	0,020	0,035
1	0,07	10,1	17,0	0,51	0,23	1,32	0,25	0,031	0,012
2	0,08	10,0	17,1	0,50	0,20	1,18	0,58	0,030	0,001

Существенных отклонений в химическом составе исследуемых образцов не обнаружено, он соответствует заявленной марке стали по ГОСТ 5632–2014 [8].

В деформированном аустените во время горячей прокатки протекает ряд высокотемпературных процессов, от которых, главным образом, зависит структура во время различных

стадий прокатки. От степени развития этих процессов (упрочнение, разупрочнение, возврат, рекристаллизация, выделение второй или нескольких фаз) во многом зависят структура и свойства металлопродукции [10].

Микроструктура образца № 1 в различных участках трубной заготовки представлена на рис. 1.

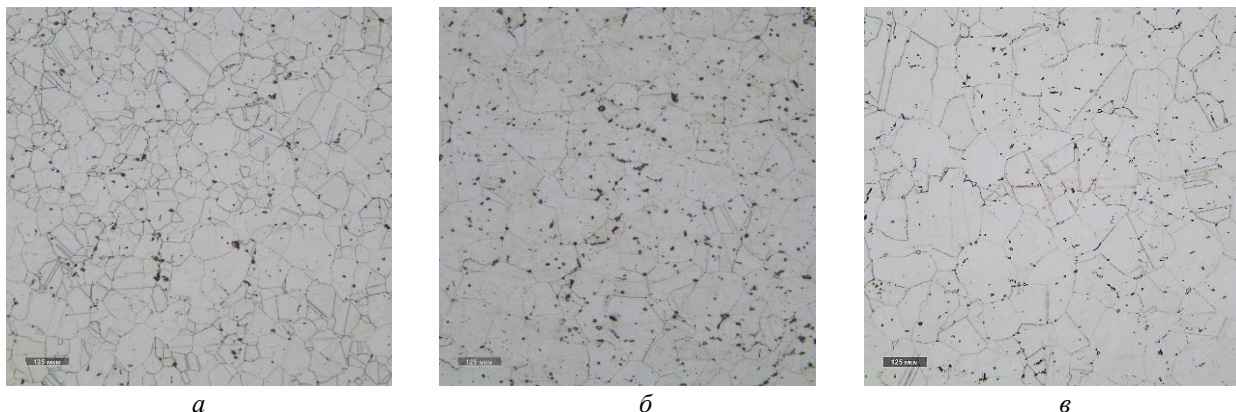


Рис. 1. Микроструктура образца после прокатки:
а – поверхность заготовки; б – 1/2 радиуса; в – центр заготовки

Микроструктура исследованных образцов представляет собой аустенит и карбиды. Карбиды располагаются, в основном, внутри аустенитного зерна. Они присутствуют как в поверхностной части заготовки, так и в центре.

В микроструктуре после прокатки присутствуют двойники, количество которых уменьшается от поверхности к центру.

Существует тенденция увеличения размера аустенитного зерна от поверхности к центру заготовки (рис. 2).

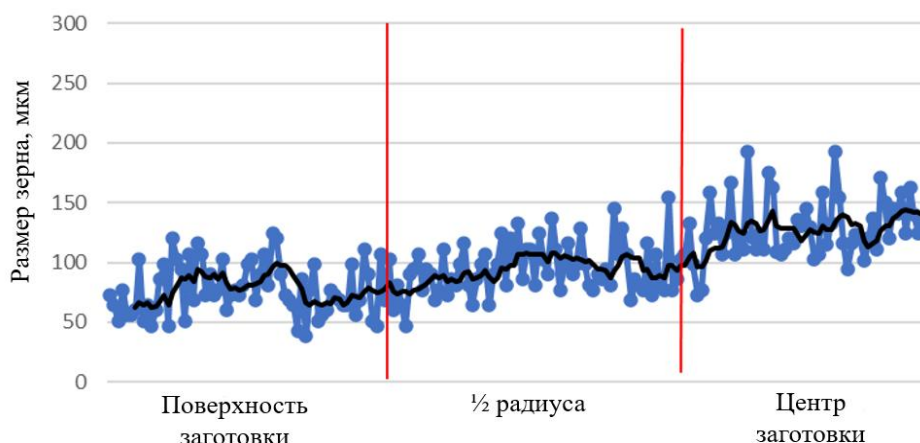


Рис. 2. Изменение размера зерна по сечению горячекатаной заготовки

При горячей прокатке степень деформации за один проход обычно сравнительно небольшая и в зоне деформации (между вальками) протекает только динамический возврат, не изменяющий форму зерен. По выходе из валков в охлаждающемся металле может протекать статическая рекристаллизация, в результате которой образуются равноосные зерна. Если между проходами статическая рекристаллизация не идет и наклеп накапливается, то, несмотря на сравнительно небольшую степень деформации за каждый проход, начиная с определенного суммарного обжатия, при горячей прокатке в зоне деформации, становится возможной динамическая рекристаллизация [16].

Таким образом, в поверхности начались процессы рекристаллизации у границ зерен и у

границ некоторых двойников. О чем говорит минимальный размер зерен от 50 до 125 мкм.

В области 1/2 радиуса заготовки размер зерна составляет от 70 до 150.

В центре заготовки зерна крупнее, чем в поверхности и варьируются от 75 до 200 мкм.

Такая же тенденция наблюдается в образце № 2 (рис. 4). В структуре послековки также присутствуют двойники, но их количество меньше, чем в горячекатаной заготовке.

В поверхностной части кованой заготовки карбиды располагаются по границам аустенитного зерна, образуя карбидную сетку (рис. 5), в то время как в горячекатаной они находятся в основном внутри зерна и их количество значительно меньше.

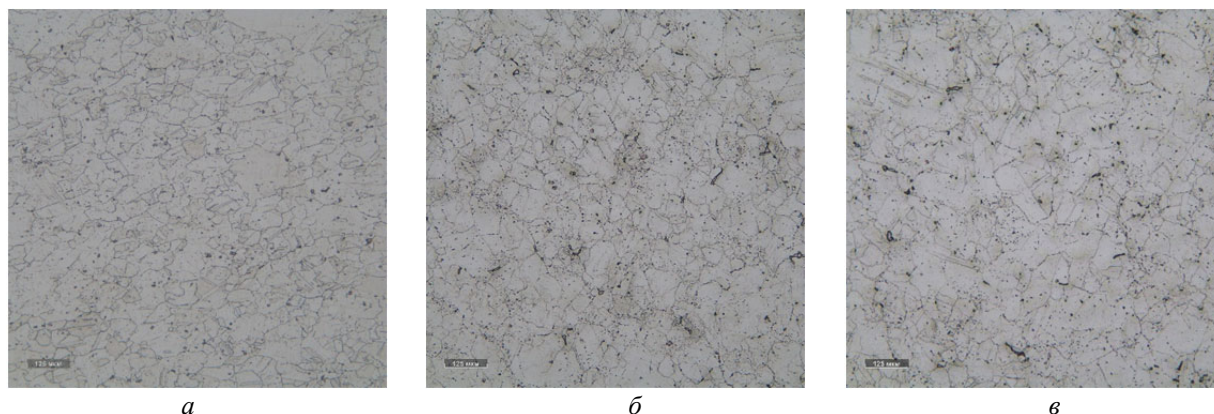


Рис. 3. Микроструктура образца послековки:
а – поверхность заготовки; б – 1/2 радиуса; в – центр заготовки

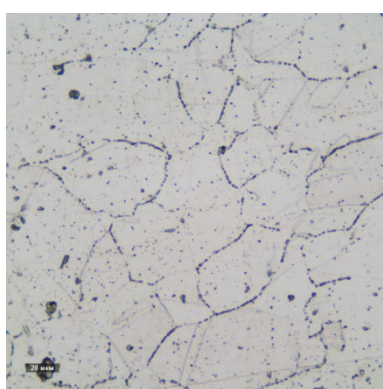


Рис. 4. Микроструктура поверхности образца послековки

В центральной части ковальной заготовки наблюдается разнотернистость.

Изменение размера зерна по сечению заготовки представлено на рис. 5.

В связи с большой степенью деформации при ковке в поверхности более активно идут процессы рекристаллизации, чем в горячекатаной заготовке, поэтому размер зерен там минимальный по сравнению с центром заготовки и варьируется от 28 до 110 мкм.

В области 1/2 радиуса заготовки размер зерен составляет от 39 до 130 мкм, в то время как в образце № 1 от 70 до 150 мкм.

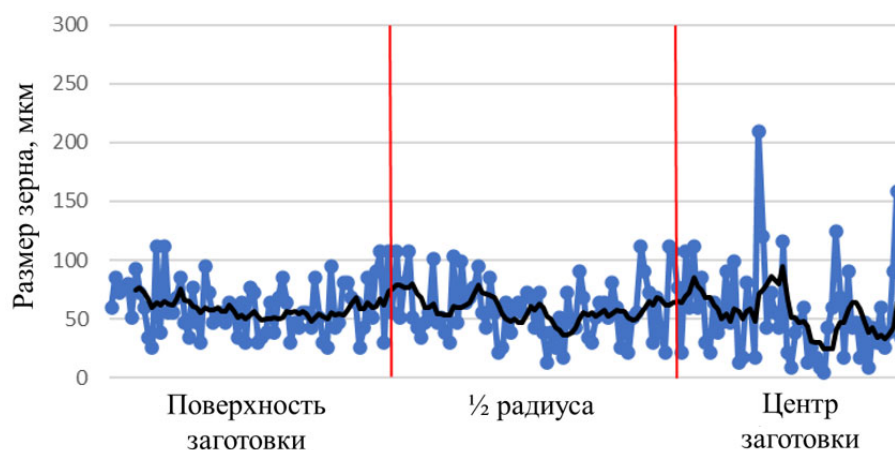


Рис. 5. Изменение размера зерна по сечению ковальной заготовки

В микроструктуре центральной части ковальной заготовки наблюдается разнотернистость, характеризующаяся наличием очень крупных зерен (рис. 5), отличающихся от основной массы зерен, в связи с чем, оценивать размер зерен некорректно.

При большой степени деформации и высокой температуре происходит сильный горячий

наклеп, который сопровождается динамической рекристаллизацией, которая проходит на поверхности образца, а по завершению процессаковки протекает метадинамическая рекристаллизация.

Но так же необходимо отметить, что структура послековки имеет более мелкое зерно по сравнению со структурой после прокатки, что видно из табл. 2.

Таблица 2

Средний размер зерен исследуемых образцов

№ образца	Поверхность заготовки, мкм	½ радиуса заготовки, мкм	Центр заготовки, мкм
1	77	94	126
2	62	86	–

Выводы

1. Исследование химического состава стали 08X18H10T показало его соответствие ГОСТ 5632–2014.

2. Аустенитное зерно на 10–24 % мельче в ковальной заготовке по сравнению с горячекатаной, что связано с более интенсивной деформацией, и, как следствие, с активно идущими рекристаллизационными процессами.

3. Карбидная фаза в ковальной заготовке располагается по границам зерен в виде сетки, что может привести к охрупчиванию металла и снижению коррозионной стойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ghazani M. S., Eghbali B. Modeling the Flow Behavior of AISI 321 Austenitic Stainless Steel Using a Simple Combined Phenomenological Method. *Mechanics of Materials*, 2019, vol. 137, pp. 103–108. DOI: 10.1016/j.mechmat.2019.103108.
2. Huang K., Loge R. E. A Review of Dynamic Recrystallization Phenomena in Metallic Materials. *Materials and Design*, 2016, vol. 111, pp. 548–574. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.09.012.
3. Lo R. H., Shek C. H., Lai J. K. L. Recent Developments in Stainless Steels. *Materials Science and Engineering*, 2009, vol. 65, pp. 39–104. DOI: 10.1016/j.mser.2009.03.001.
4. Nes E., Marthinsen K. Modeling the Evolution in Microstructure and Properties During Plastic Deformation of F.C.C.-Metals and Alloys – an Approach towards a Unified Model. *Materials Science and Engineering*, 2002, vol. 322, no. 1–2, pp. 176–193. DOI: 10.1016/S0921-5093(01)01130-3.
5. Poliak E. I. Dynamic Recrystallization Control in Hot rolling. *Procedia Manufacturing*, 2020, vol. 50, pp. 362–367. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.08.067.
6. Ryan N. D., McQueen H. J. Comparison of Dynamic Softening in 301, 304, 316 and 317 Stainless Steels. *High Temperature Technology*, 1990, vol. 8, no. 3, pp. 185–200.
7. Vitos L., Nilsson J.-O., Johansson B. Alloying Effects on the Stacking Fault Energy in Austenitic Stainless Steels from First-Principles Theory. *Acta Materialia*, 2006, vol. 54 (14), pp. 3821–3826. DOI: 10.1016/j.actamat.2006.04.013.
8. ГОСТ 5632–2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. – Взамен ГОСТ 5632-72; введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2015.
9. ГОСТ 5639–82. Методы выявления и определения величины зерна. – Взамен ГОСТ 5639–69 ; введ. 01.01.83. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.
10. Гуляев, А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – М. : Альянс, 2011. – 644 с.
11. Зисман, А. А. Выявление бывших аустенитных зерен и анализ кинетики метадинамической рекристаллизации аустенита низкоуглеродистой стали в условиях горячей прокатки / А. А. Зисман, Т. В. Сошина, Е. И. Хлусова // Письма о материалах. – Т. 2. – 2012. – С. 3–8.
12. Куницкая, И. Н. Об энергетике структурообразования при горячей деформации прокаткой аустенитной стали / И. Н. Куницкая, В. Е. Ольшанецкий, Я. И. Спектор, А. В. Ноговицын. – УкрНИИспецсталь, 2009.
13. Левит, В. И. Высокотемпературная термомеханическая обработка аустенитных сталей и сплавов / В. И. Левит, М. А. Смирнов. – Челябинск : Издательство ЧГТУ, 1995. – 276 с.
14. Штремель, М. А. Прочность сплавов. Часть II. – Деформация / М. А. Штремель. – М. : МИСиС, 1997. – 527 с. [Shtremel M. A. Prochnost' splovov. Chast' II. Deformatsiya [Strength of Alloys. Part II. Deformation]. Moscow, MISiS, 1997. 527 p.].
15. ГОСТ 27809–95. Чугун и сталь. Методы spectroграфического анализа. – Взамен ГОСТ 27809-88 ; введ. 01.07.97. – М. : ИПК издательство стандартов, 1997.
16. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов : учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И. И. Новиков. – Металлургия, 1986. – 480 с.