

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

**Том 1. Физика**

Сборник научных трудов  
XIX Международной конференции студентов, аспирантов  
и молодых ученых  
26–29 апреля 2022 г.

# PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

**Volume 1. Physics**

Abstracts  
XIX International Conference of students, graduate students  
and young scientists  
April 26–29, 2022



Национальный  
исследовательский  
**Томский  
государственный  
университет**



Томск 2022

УДК 669.018.2:539.4.016.3

## ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А.В. Ким, С.А. Аккузин

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И.Ю. Литовченко  
Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050  
E-mail: [aneeta.2001@list.ru](mailto:aneeta.2001@list.ru)

## EVOLUTION OF THE GRAIN STRUCTURE OF AUSTENITIC STEEL EK-164 AS A RESULT OF THERMOMECHANICAL TREATMENT

A. V. Kim, S.A. Akkuzin

Scientific Supervisor: assistant professor, Dr. I. Yu. Litovchenko  
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050  
E-mail: [aneeta.2001@list.ru](mailto:aneeta.2001@list.ru)

**Abstract.** *The influence of high-temperature thermomechanical treatments (HTMT) on grain structure of reactor austenitic steel EK-164 has been studied. It is shown that as a result of hot deformation grains stretch in the rolling direction and flatten in the rolling plane with a decrease of their average size by several times. The studied HTMOs lead to an increase in yield strength with a decrease in relative elongation.*

**Введение.** Аустенитная сталь ЭК-164 в настоящее время используется в качестве материала для оболочек тепловыделяющих элементов ядерных реакторов (БН-600, БН-800 и др.). Высокое содержание в ней никеля и карбидообразующих элементов обеспечивает высокую стабильность стали по отношению к мартенситным превращениям в условиях холодной пластической деформации [1]. Термомеханические обработки являются одним из способов модификации микроструктуры аустенитных сталей с целью повышения их прочностных свойств [2, 3]. Влияние таких обработок на стали ЭК-164 малоизучено.

Измельчение зеренной структуры позволяет повышать прочностные свойства аустенитных сталей при сохранении достаточного запаса пластичности. В связи с этим, в настоящей работе исследуется влияние высокотемпературных термомеханических обработок (ВТМО) на зеренную структуру и механические свойства аустенитной стали ЭК-164.

**Материалы и методы исследования.** В настоящей работе исследована хромоникелевая стабильная аустенитная сталь ЭК-164 (07X16H19M2Г2БТР) в исходном состоянии и после ВТМО. Исходное состояние (~ 100 % аустенита) получено закалкой  $T = 1100$  °С, 1 час.

Проведенные термомеханические обработки: горячая пластическая деформация прокаткой с нагревом до 1100 °С со степенью деформации  $\approx 50$  % за 1 проход (ВТМО-1); ВТМО-1 с последующей деформацией прокаткой с нагревом до 900 °С с общей деформацией  $\approx 50\%$  за 1 проход (ВТМО-2).

Механические испытания осуществляли при комнатной температуре методом активного растяжения с использованием образцов в форме двойных лопаток с размерами рабочей части 13×2×1 мм. Поврежденный слой удалялся механической шлифовкой с последующей полировкой. Для

металлографічних досліджень полірована поверхня травилася в розчині 120 мл  $\text{HNO}_3$  + 80 мл  $\text{H}_2\text{O}$  при напрузі 4,5 В, 10 с. Металлографічні дослідження проводили з використанням оптичного мікроскопа Olympus GX71. Середні розміри аустенітних зерен із даних оптичної металлографії визначалися з використанням програмного забезпечення Altami Studio.

**Результати.** Показано, що в початковому стані середній розмір зерна  $\sim 19,8$  мкм (Рис. 1). Мінімальний розмір зерен  $\sim 4,2$  мкм, максимальний  $\sim 73,2$  мкм. Присутні частинки карбідів типу  $\text{MX}$  (де  $\text{M} - \text{V}, \text{Ti}$  або  $\text{Nb}$ ,  $\text{X} - \text{C}$  або  $\text{N}$ ) різних розмірів: відносно малих - менше 1 мкм і відносно великих - в декілька мікрон. Всередині окремих зерен виявлені подвійники віджигу.

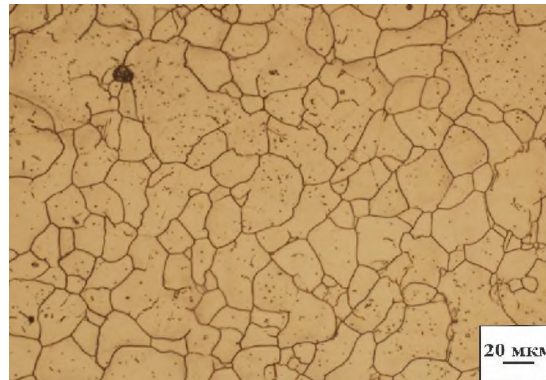


Рис. 1. Зерниста структура сталі в початковому стані

Металлографічні дослідження показали (Рис. 2), що ВТМО-1 призводить до зміни зернистої структури. Середній розмір зерна в розрізі паралельному площині прокатки збільшується до  $\sim 31,9$  мкм. Мінімальний і максимальні розміри зерна в цьому розрізі становлять  $\sim 7,11$  і  $\sim 85,9$  мкм, відповідно, що перевищує відповідні значення в початковому стані. В розрізі перпендикулярному площині прокатки зерна витягуються в напрямку прокатки, їх середній поперечний розмір зменшується і становить 8,4 мкм.

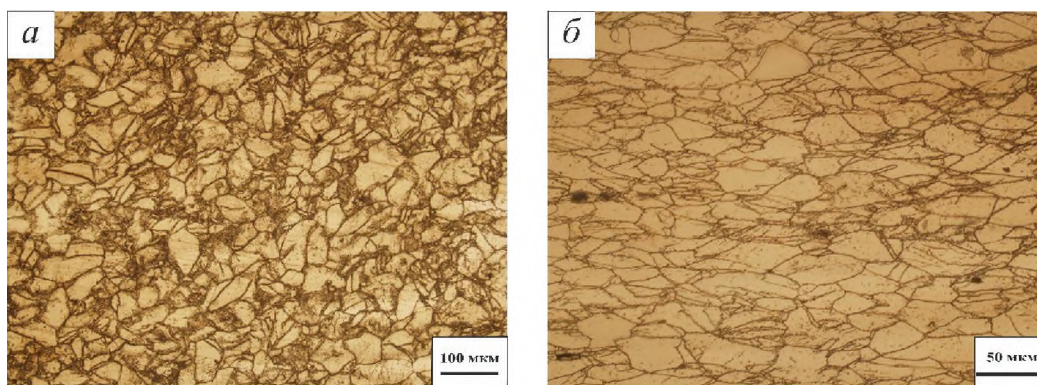
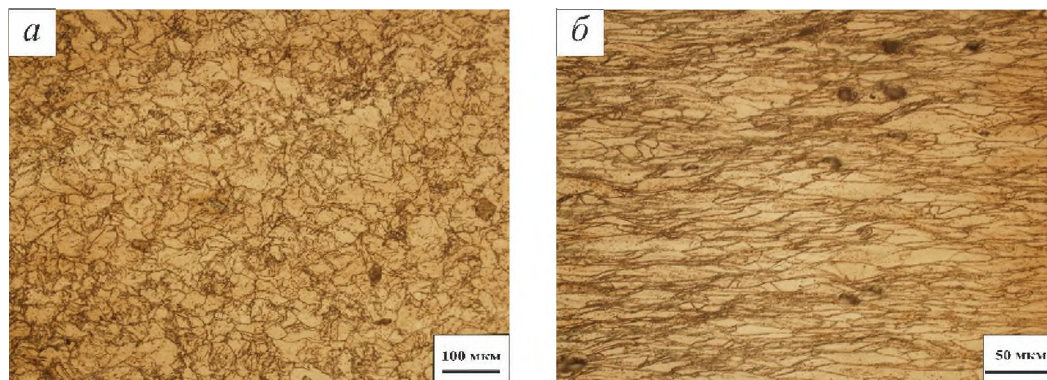


Рис. 2. Зерниста структура сталі після ВТМО-1: а) Паралельний розріз; б) Перпендикулярний розріз

ВТМО-2 призводить до більш значущої зміни зернистої структури (Рис. 3). Середній розмір зерен в розрізі, паралельному площині прокатки становить  $\sim 36,3$  мкм, мінімальний  $\sim 6,45$  мкм, максимальний  $\sim 94,7$  мкм. Зерна додатково сплющуються в площині і витягуються в

направленні прокатки. Наблюдаються витянуті відносно крупні зерна, оточені мелкими зернами. Середній поперечний розмір зерен в перпендикулярному сеченні зменшується до 5 мкм.



*Рис. 3. Зерниста структура сталі після ВТМО-2: а) Паралельне сечення; б) Перпендикулярне сечення*

Полученная в результате изученных обработок структура обеспечивает повышение предела текучести стали с  $\sim 230$  МПа (в исходном состоянии) до  $\sim 426$  МПа и  $\sim 643$  МПа после ВТМО-1 и ВТМО-2, соответственно. При этом относительное удлинение уменьшается с  $\sim 50\%$  до  $\sim 23.4\%$  и  $\sim 11.4\%$  соответственно. При этом изменение прочностных и пластических свойств стали в результате ВТМО обусловлено не только модификацией зеренной структуры, но и повышением плотности дислокаций [4].

**Заключення.** Показано, що ВТМО приводить до зміненню зернистої структури реакторної аустенитної сталі ЕК-164. При цьому вихідні практично рівноосні зерна витягуються в напрямленні прокатки і сплющуються в площині прокатки зі значительним (в  $\approx 2,4$  і  $\approx 4$  рази) зменшенням їх середніх поперечних розмірів. Указані змієння зернистої структури сприяють підвищенню межі текучості в  $\approx 1,9$  і  $\approx 2,8$  рази при відповідному зменшенні пластичності.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аккузин С.А., Литовченко И.Ю. Влияние температуры пластической деформации на микроструктуру и механические свойства аустенитной стали ЭК-164 // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2020. – №2. – С. 7–14.
2. Torganchuk V., Belyakov A., Kaibyshev R. Effect of rolling temperature on microstructure and mechanical properties of 18%Mn TWIP/TRIP steels // Materials Science and Engineering A. – 2017. – Vol. 708. – P. 110–117.
3. Аккузин С.А., Литовченко И.Ю. Влияние деформации и кратковременных высокотемпературных отжигов на микроструктуру и механические свойства аустенитной стали 02X17H14M3 // Известия ВУЗов. Физика. – 2019. – Т. 62. – № 8. – С.190–195.
4. Akkuzin S.A., Litovchenko I.Yu., Polekhina N.A., Almaeva K.V., Kim A.V., Moskvichev E.N., Chernov V.M. Effect of multistage high temperature thermomechanical treatment on the microstructure and mechanical properties of austenitic reactor steel // Metals. – 2022. – Vol. 12, № 1. – P. 63-1–63-16.