

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XVIII Российской научной студенческой конференции
«Физика твёрдого тела»
(ФТТ-2022)

28 – 31 марта 2022 года
Томск, Россия

Томск – 2022

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЕАКТОРНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 В
РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК**

А.В. Ким

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И.Ю. Литовченко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: aneeta.2001@list.ru

Аустенитная коррозионноустойчивая сталь ЭК-164 в настоящее время применяется в качестве материала для оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) реакторов на быстрых нейтронах. Для этих целей сталь используют в холоднокатанном состоянии, особенности микроструктуры и механические свойства которого изучены в [1]. Термомеханические обработки являются одним из способов модификации микроструктуры и повышения прочностных свойств сталей. В настоящей работе в продолжение исследований влияния высокотемпературных термомеханических обработок (ВТМО) на микроструктуру и механические свойства стали ЭК-164 [2], изучаются особенности дислокационной субструктуры и карбидной подсистемы стали после ВТМО.

Объектом исследования является хромоникелевая стабильная аустенитная сталь ЭК-164 (07X16N19M2Г2БТР). Исходное состояние получено закалкой от $T = 1100$ °С с выдержкой 1 час. ВТМО проводили по двум режимам: пластическая деформация прокаткой с нагревом до 1100 °С со степенью деформации ≈ 50 % за 1 проход (ВТМО-1); ВТМО-1 с последующей деформацией прокаткой с нагревом до 900 °С с общей степенью деформации $\approx 50\%$ за 1 проход (ВТМО-2). Особенности гетерофазной микроструктуры стали изучали на просвечивающем электронном микроскопе Philips CM-12.

На основании анализа не менее 5 электронно-микроскопических изображений в исходном состоянии и после ВТМО были проведены оценки плотности дислокаций методом секущих [3]. Согласно этим оценкам, плотность дислокаций в исходном состоянии составляет $\rho \approx 1.5 \times 10^{10}$ см⁻², после ВТМО-1 она возрастает до $\rho \approx 2.1 \times 10^{10}$ см⁻², после ВТМО-2 увеличивается до $\rho \approx 4.6 \times 10^{10}$ см⁻² (Рис.1).

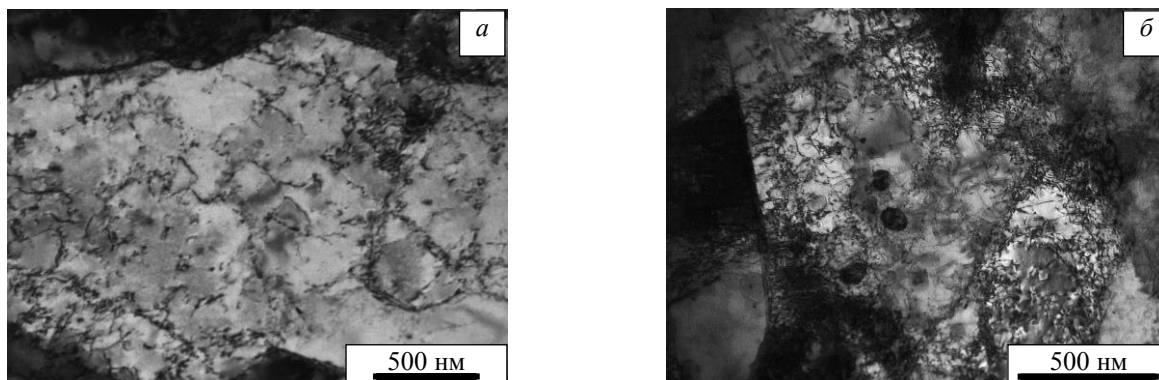


Рис. 1. Микроструктура стали: а – ВТМО-1; б – ВТМО-2.

Проведенные ранее исследования [2] показали, что в стали ЭК-164 наблюдаются мелко- и грубодисперсные карбиды типа MX (где М – V, Ti или Nb, X – C или N). На основании анализа электронно-микроскопических изображений (не менее 5 участков) были проведены оценки объемных долей грубодисперсных (размерами более 50 нм) и мелкодисперсных (размерами менее 50 нм) карбидных фаз после ВТМО (Рис.2). Объемная доля частиц рассчитана по формуле (1).

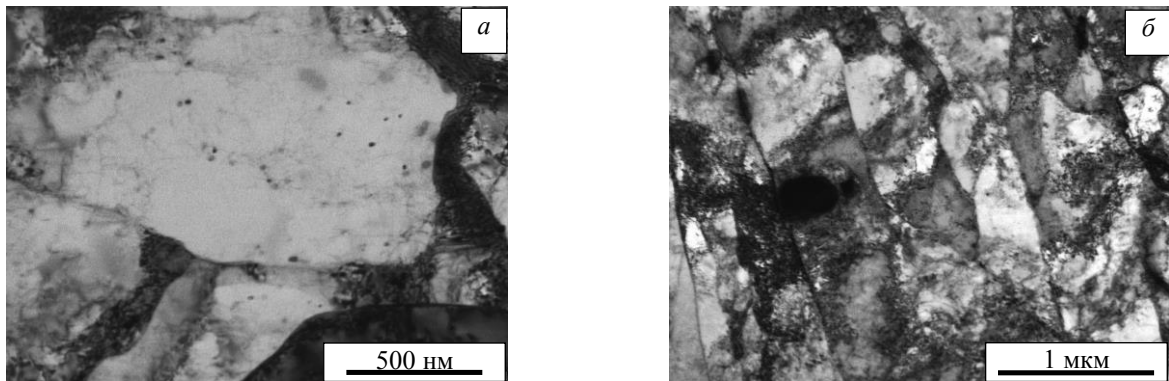


Рис. 2. Микроструктура стали: а – VTMO-1; б – VTMO-2.

$$f = \frac{V_{д.ф.}}{V_{д.с.}} (100\%) \quad (1),$$

где $V_{д.ф.}$ – объем дисперсной фазы, как сумма объемов всех наноразмерных частиц (для упрощения оценок частицы считали сферическими), $V_{д.с.}$ – общий объем дисперсной системы в исследованном участке фольги как площадь участка, умноженная на толщину фольги (упрощенно принята $\approx 0,1$ мкм).

Следует отметить, что карбидные фазы распределены неоднородно в объеме тонких фольг, встречаются участки с относительно высокой их плотностью и участки, где частицы практически отсутствуют. Согласно [4], объемная доля грубодисперсных карбидных частиц в результате VTMO не изменяется по сравнению с исходным состоянием. Оценки, проведенные в настоящей работе, показали, что объемная доля грубодисперсных частиц составляет $f \approx 1.9\%$, при этом объемная доля мелкодисперсных частиц после VTMO составляет 0.1-0.3%. Мелкодисперсные карбидные частицы вносят вклад в упрочнение стали по механизму Орована.

Таким образом, проведенные высокотемпературные термомеханические обработки обеспечивают повышение плотности дислокаций в ≈ 1.4 раза (после VTMO-1) и в ≈ 3 раза (после VTMO-2) по сравнению с исходным состоянием. Показано, что объемная доля мелкодисперсных частиц после VTMO составляет 0.1-0.3%. Повышенная плотность дислокаций и мелкодисперсные частицы типа МХ способствуют повышению прочностных свойств аустенитной стали ЭК-164 после VTMO.

Литература

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. 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.
3. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения / И.И. Новиков – М.: Металлургия, 1975. – 208 с.
4. Аккузин С.А. Влияние деформации и кратковременных высокотемпературных отжигов на микроструктуру и механические свойства аустенитной стали 02X17H14M3 / С.А. Аккузин, И.Ю. Литовченко // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62. – № 8. – С. 190 – 195.