

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕЗОМЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ.  
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ  
СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Международная конференция

5–8 сентября 2022 г.

Томск, Россия

Тезисы докладов

Новосибирск  
2022

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ РЕАКТОРНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК**<sup>1</sup>Аккузин С.А., <sup>1</sup>Литовченко И.Ю., <sup>2</sup>Ким А.В., <sup>1</sup>Алмаева К.В., <sup>1</sup>Круковский К.В.<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

В настоящей работе экспериментально исследовано влияние термомеханических обработок (ТМО) на механические свойства и особенности разрушения реакторной аустенитной стали ЭК-164 (07X16H19M2Г2БТР). Режимы термомеханических обработок состояли из пластической деформации прокаткой (до степени деформации  $\epsilon \approx 2$  за 6 проходов) с предварительным нагревом до  $T = 600, 700, 800$  или  $900$  °С, соответственно, и выдержкой в течении 10 минут. После каждого из проходов образцы стали закаливали в воду. Механические испытания осуществляли при температуре  $T = 20$  °С методом активного растяжения со скоростью деформации  $\approx 2 \times 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>. Использовали образцы в форме двойных лопаток с длиной рабочей части 13 мм и сечением  $2 \times 1$  мм<sup>2</sup>. Ось растяжения совпадала с направлением прокатки образцов.

Механические испытания на растяжение показали, что после ТМО значения прочностных свойств стали повышаются в несколько (1,5-4,2) раз, по сравнению с исходным (закаленным) состоянием. Предел текучести после таких обработок достигает  $\approx 730-845$  МПа, предел прочности –  $\approx 815-985$  МПа. При этом относительное удлинение стали после всех режимов ТМО снижается (в  $\approx 7$  раз), относительно исходного состояния, и составляет  $\approx 6-8\%$ .

Фрактографические исследования с использованием растровой электронной микроскопии показали, что после предложенных режимов ТМО поверхность разрушения макроскопически неоднородна. Наблюдается выраженный рельеф излома образцов. Образцы стали после всех рассматриваемых режимов обработки разрушаются с образованием шейки, что согласуется с полученными значениями пластичности. Все образцы разрушаются по механизму вязкого ямочного транскристаллитного разрушения. В центральной части изломов (в зоне устойчивого распространения трещины) локально появляются участки интеркристаллитного вязкого разрушения. Это связано с формированием в процессе тепловой пластической деформации прокаткой полосчатой (пластинчатой) зеренной структуры, которая вытянута в направлении прокатки.

На микроскопическом уровне в зоне устойчивого распространения трещины и зоне долома обнаружены крупные и мелкие ямки. Последних существенно больше и средний размер их составляет  $\approx 1-3$  мкм. На дне крупных (диаметром 5–20 мкм) ямок обнаружены частицы вторых фаз размерами в несколько микрометров (некоторые из таких частиц разрушены). Указанные частицы служат концентраторами напряжений при растяжении образцов. Энергодисперсионный анализ показал, что обсуждаемые частицы представляют собой карбидные выделения на основе Ti и Nb. Ранее в [1] была подробно описана микроструктура стали ЭК-164 в исходном состоянии и после термомеханических обработок, где показано наличие подобных частиц как на границах зерен, так и внутри них.

Таким образом, ТМО с пластической деформацией в интервале температур 600–900 °С приводят к повышению, относительно исходного состояния, прочностных свойств стали ЭК-164 с сохранением удовлетворительного уровня пластичности. Указанные изменения механических свойств не оказывают существенного влияния на характер разрушения стали при комнатной температуре испытаний.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0008.*