

используемых в радиационных технологиях и научных исследованиях. Одним из видов источников высокодозных излучений являются сильноточные электронные пучки, которые используются в различных научных исследованиях, а также для стерилизации медицинского оборудования и пищевых продуктов [3]. Люминесцентные свойства MgO, облученного таким источником, до сих пор не исследовались.

Целью работы является синтез ультрадисперсных керамик из нанопорошка оксида магния и исследование его люминесцентных и дозиметрических свойств после облучения импульсным электронным пучком.

Из исходного нанопорошка оксида магния с размером частиц 45-60 нм были получены компакты в виде таблеток массой 50 мг, диаметром 5 мм и толщиной 1 мм путем холодного одноосного прессования порошка при удельном давлении 1000 кгс/см<sup>2</sup>. Для увеличения выхода люминесценции проводилась термообработка в диапазоне 1100-1500 °С при длительности выдержки 1-5 часов. Термическая обработка проводилась в вакуумной электропечи с экранной изоляцией СНВЭ-9/18 в присутствии углерода для создания восстановительной среды. Известно, что такая термообработка приводит к увеличению концентрации кислородных вакансий, которые являются центрами люминесценции в данном материале (F-центры). Синтезированные керамики облучались при комнатной температуре электронным пучком ускорителя с длительностью импульса 2 нс и средней энергией электронов 130±1 кэВ при плотности тока 60 А/см<sup>2</sup>. Поглощенная доза при облучении одним импульсом составила 1,5 кГр.

Было зарегистрировано увеличение свечения фотолюминесценции в полосе 500 нм, связанной с F-центрами, в термообработанных образцах, что свидетельствует о росте концентрации кислородных вакансий. Наблюдалось также увеличение интенсивности термолюминесценции пиков при 140 °С и 270 °С более чем на порядок величины. Полученные результаты исследования дозиметрических свойств показывают перспективность применения термолюминесценции полученных керамик оксида магния для измерения высоких доз импульсных электронных пучков.

Список публикаций:

- [1] Dolgov, S., et al. *Rad. Prot. Dosim.* 2002 100, 1-4, p 127-130.
- [2] Nikiforov, S.V., Kortov, V.S., Petrov, M.O. *Rad. Meas.* 2016 90 p 252-256.
- [3] Krashennnikov A.V., Banhart F. *Nature Materials.* 2007. V.6. P. 723-733.

## **Исследование термической стабильности микроструктуры и свойств метастабильной аустенитной стали после термомеханической обработки**

*Аккузин Сергей Александрович*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*Литовченко Игорь Юрьевич, к.ф.-м.н.*

*[s.a.akkizin@gmail.com](mailto:s.a.akkizin@gmail.com)*

В работе исследована термическая стабильность микроструктуры и свойств метастабильной аустенитной стали 08X18H10T после термомеханической обработки. Целью термомеханической обработки было формирование в стали субмикроструктурной структуры. Методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного фазового анализа и измерений удельной намагниченности изучены особенности структурно-фазовых состояний стали 08X18H10T после термомеханической обработки и отжига в температурном интервале T = 500 – 900 С. Механические свойства были исследованы в процессе активного растяжения при T = 20 С на образцах в форме двойных лопаток с размерами рабочей части 13×2×1 мм.

Перед деформацией образцы закаливали в воду после выдержки при 1100 С в течение 1 часа. При этом содержание аустенита ≈ 100 %. Термомеханическую обработку проводили в три этапа: первый этап – низкотемпературная (вблизи T = - 196 С) деформация прокаткой (ε ≈ 20 %) за несколько проходов; второй этап – деформация прокаткой при T = 600 С за два прохода, (ε ≈ 40 %); и третий этап – последующий отжиг при T = 800 С в течение 200 с. В отличие от методов интенсивной пластической деформации использованы относительно малые степени деформации прокаткой (e < 1, e – истинная деформация).

Установлено, что в результате термомеханической обработки в метастабильной аустенитной стали реализуются прямые (γ → α')- и обратные (α' → γ)-мартенситные превращения с формированием субмикро- и нанокристаллических структурных состояний, которые обеспечивают существенный (в несколько раз) рост прочностных свойств материала (таблица 1). Характерной особенностью полученного состояния после термомеханической обработки является наличие ламельной аустенитной структуры субмикроструктурного масштаба, подобной структуре пакетного α'-мартенсита. Кроме того, в аустените обнаружены как микродвойники, так и нанодвойники деформации.

В микроструктуре в отдельных областях наблюдаются дисперсные карбиды TiC. Средний размер карбидов TiC  $\approx 5 - 10$  нм, однако встречаются отдельные крупные частицы размером  $\approx 100$  нм. Методом рентгеноструктурного анализа карбиды TiC не обнаружены, следовательно, их объемная доля не превышает 1 %.

| Состояние стали                 | Объемные доли фаз |              | Механические свойства |                  |              |
|---------------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|------------------|--------------|
|                                 | $\alpha'$ , %     | $\gamma$ , % | $\sigma_{0.1}$ , МПа  | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % |
| Исходное                        | 0                 | 100          | 205 – 340             | 520 – 700        | 40 – 60      |
| НД*                             | 54                | 46           | 923 – 929             | 1108 – 1111      | 13,7 – 14,6  |
| НД* + ТД**                      | 28                | 72           | 1252 – 1254           | 1292 – 1340      | 1,6 – 3,7    |
| НД* + ТД** + Т = 800 °С, 200 с. | 6                 | 94           | 794 – 871             | 958 – 1021       | 14 – 24,4    |

НД\* – низкотемпературная деформация; ТД\*\* – деформация при Т = 600 °С

Термическую стабильность изучали путем отжига длительностью 1 ч в температурном интервале Т = 500 – 900 С в структурном состоянии, полученном в результате термомеханической обработки (рис.1). Из приведенной зависимости предела текучести от температуры отжига видно, что при температурах отжига 800 – 900 °С происходит снижение прочностных свойств до уровня, близкого к исходным значениям. Это связано с развитием динамической рекристаллизации с существенным ростом размеров фрагментов аустенита (до нескольких мкм) и частиц TiC.

В процессе отжига при Т  $\leq 600$  С в течение 1 ч значения предела текучести сохраняются на уровне не менее 650 МПа, что  $\approx 150$  МПа ниже, чем значения после термомеханической обработки (рис.1). Размеры элементов (зерен и субзерен) субмикроструктурной структуры после отжига при Т = 600 С меняются незначительно. Наблюдается некоторое увеличение количества зерен с малой плотностью дефектов, обнаруживаются мелкодисперсные (до 30 нм) частицы TiC. При более высокой температуре (700 С) начинается резкое падение значений предела текучести.

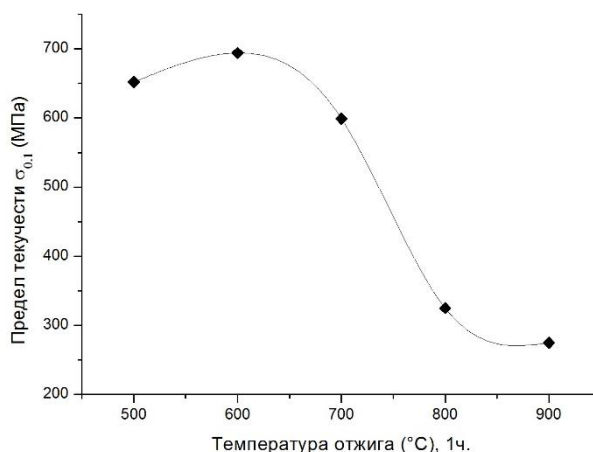


рис.1 Термическая стабильность механических свойств после термомеханической обработки.

Таким образом, полученное в процессе рассмотренной термомеханической обработки структурное состояние сохраняет свою стабильность при отжигах до 600 С. Механические свойства при этом также остаются на достаточно высоком уровне, – в  $\approx 2 - 3$  раза превышая исходные значения. Снижение предела текучести в процессе отжига при указанной температуре может быть обусловлено процессами возврата. Рекристаллизация при этом не происходит, размеры субмикроструктурной структуры существенно не изменяются.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-08-07416-а.

Список публикаций:

- [1] Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N., Naiden E.P. // Russian Physics Journal. 2016. Т. 59(6). С. 782-787. doi:10.1007/s11182-016-0837-1.
- [2] Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N., Naiden E.P. // AIP Conference Proceedings. V. 2015. 1683 P. 020123-1-020123-4. doi:10.1063/1.4932813.
- [3] Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N. // AIP Conference Proceedings. V. 2016. 1783 P. 020001-1-020001-4. doi:10.1063/1.4966294.