

УДК 620.14.018.44

## ИЗМЕНЕНИЕ НАСЫЩЕНИЯ МАТРИЦЫ ЛЕГИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА 44НХТЮ

*Редькина Н.В., аспирант кафедры «Металловедение, термическая  
и пластическая обработка металлов» (rednatvik@gmail.com)*

**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева**  
(603905, Россия, Нижний Новгород, ул. Минина, 24)

**Аннотация.** Полной растворимости легирующих элементов (хром, титан, алюминий) в железоникелевой матрице (Fe – Ni) в сплаве 44НХТЮ в зависимости от количества циклов при первичной термоциклической обработке (ТЦО) не происходит. Об этом свидетельствуют основные реплики матрицы с индексами плоскости отражения (111) рентгенограмм образцов при исследуемых режимах термоциклической обработки. Максимальная растворимость легирующих элементов достигается только при полной закалке. Особое внимание при дальнейшем исследовании ТЦО следует уделить третьему и четвертому циклам, изменяя в этих циклах скорость охлаждения за счет охлаждающей среды, так как с увеличением количества циклов при первичной ТЦО значительных изменений не происходит.

**Ключевые слова:** закалка, термоциклическая обработка, качественный рентгеноструктурный анализ, сплав 44НХТЮ, матрица, легирующие элементы, реплика.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2020-11-12-965-966

Первичная термоциклическая обработка (ТЦО) является аналогом полной закалки и позволяет интенсифицировать сам процесс термической обработки и выйти на качественно новый высокий уровень прочностных свойств материала при последующей вторичной ТЦО. За счет дополнительного повышения вязкости вторичная ТЦО является аналогом старения. Это очень важно для сплава 44НХТЮ, который в настоящее время широко используется для изготовления упругих чувствительных элементов.

Сплав 44НХТЮ характеризуется нулевым значением термоупругого коэффициента, и, следовательно, при нагреве до температуры 200 °С модуль упругости ведет себя оптимальным образом, то есть сохраняет стабильность во всей температурной области ферромагнитного состояния (вплоть до точки Кюри).

В настоящей работе использовали метод качественного рентгеноструктурного анализа (съемку дифрактограмм проводили на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-2; режимы съемки:  $U = 24$  кВ;  $I = 8$  мА; размер щели  $1 \times 10 \times 2$  мм; излучение – железо) [1].

Химический состав сплава 44НХТЮ аустенитного класса приведен в ГОСТ 10994 – 74. При закалке и первичной ТЦО сплава 44НХТЮ полиморфных превращений не происходит: об этом свидетельствует отсутствие смещений реплик (относительно дифрактограммы исходного отожженного образца) на дифрактограммах образцов после термических обработок в различных режимах [2].

Интервал первичной ТЦО выбран в соответствии с рекомендациями В.К. Федюкина [3] по схеме высо-

котемпературного термоциклирования (рис. 1): верхняя температура при термоциклировании составляет  $910 \pm 10$  °С, нижняя температура составляет  $350 \pm 10$  °С.

На рис. 2 представлены результаты качественного рентгеноструктурного анализа первичной термоциклической обработки и полной закалки сплава 44НХТЮ по схеме термоциклирования [3 – 6].

При первичной ТЦО максимального растворения легирующих элементов, таких как хром (примерно 5,5 %), титан (примерно 2,45 %), алюминий (примерно 0,75 %), в железоникелевой матрице (содержание никеля в сплаве примерно 44,5 %, железо – основной компонент), по сравнению с объемной полной закалкой не происходит. Значительные изменения насыщения матрицы легирующими элементами происходят при

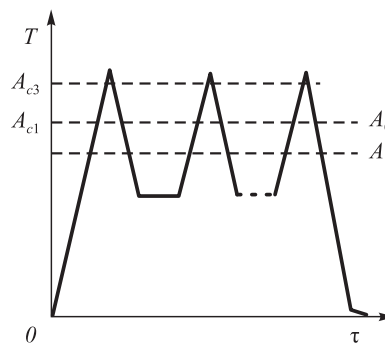


Рис. 1. Изменение температуры при высокотемпературном термоциклировании

Fig. 1. Change in temperature at high-temperature thermocycling

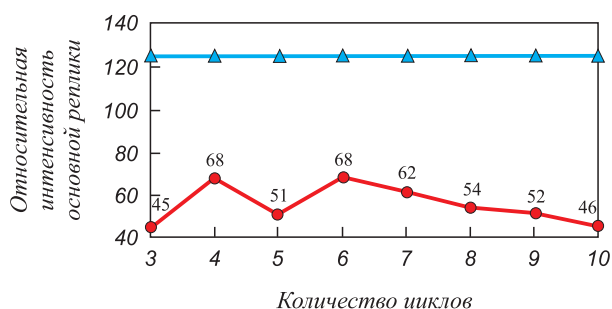


Рис. 2. Изменение относительной интенсивности основной реплики матрицы при первичной ТЦО (●) (интервал циклирования  $910 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C} \leftrightarrow 350 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; охлаждающая среда – воздух; окончательное охлаждение в воде) и при полной объемной закалке (▲) сплава 44НХТЮ в зависимости от количества циклов

Fig. 2. Change in relative intensity of the matrix main replica at primary TCP (●) (cycling interval  $910 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C} \leftrightarrow 350 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; cooling medium – air; final cooling in water) and at total volume quenching (▲) depending on the number of cycles

четырёх циклах ТЦО. Дальнейшее увеличение количества циклов (более пяти) к существенным изменениям не приводит. При десятикратном циклировании наблюдается такое же насыщение матрицы легирующими элементами, как и при трехкратном. Поэтому для дальнейшего исследования можно остановиться на изучении третьего и четвертого циклов ТЦО, варьируя при этом скорость охлаждения. Следует иметь в виду, что повышение прочности и других механических характе-

ристик происходит вследствие последующего дисперсионного старения.

**Выводы.** При проведении первичной термоциклической обработки с промежуточным термоциклированием на воздухе максимального насыщения матрицы легирующими элементами не происходит. Интерес для дальнейшего изучения первичного термоциклирования представляет третий и четвертый циклы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: Изд-во МИСИС, 1994. – 328 с.
2. Редькина Н.В. Разработка схем термоциклической обработки на примере сплава 44НХТЮ // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 5 (102). С. 358 – 361.
3. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.
4. Edwards E.H., Washburn J. Strain hardening of latent slip systems in zinc crystals // JOM. 1954. Vol. 6. P. 1239 – 1242.
5. Donchev A., Masset P.J., Schuetze M. Surface treatment of TiAl with fluorine for improved performance at elevated temperatures // Material Research Society Library Proceedings. 2009. Vol. 1128. P. 159 – 164.
6. Sylwestrowicz W., Hall E.O. The deformation and aging of mild steel // Proceedings of the Physical Society. Section B. 1951. Vol. 64. No. 6. P. 495 – 502.

Поступила в редакцию 3 октября 2018 г.  
После доработки 6 июля 2020 г.  
Принята к публикации 7 июля 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. VOL. 63. NO. 11-12, pp. 965–966.

### CHANGE IN MATRIX SATURATION WITH ALLOYING ELEMENTS AT PRIMARY THERMOCYCLIC PROCESSING OF 44NKHTYU ALLOY

N.V. Red'kina

R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The total solubility of alloying elements (chromium, titanium, aluminum) in the iron-nickel matrix (Fe – Ni) of 44NKHTYU alloy, depending on the number of cycles, does not occur during primary thermocyclic processing (TCP). This is evidenced by the main replicas of the matrix with (111) reflection plane indexes of the samples X-ray images under the studied modes of thermocyclic processing. The maximum solubility of alloying elements is achieved only at total quenching. Special attention should be paid to the third and fourth cycles in the further study of TCP changing the cooling rate in these cycles due to the cooling medium, since with an increase in the number of cycles in the primary TCP, significant changes do not occur.

**Keywords:** quenching, thermocyclic processing, qualitative X-ray diffraction analysis, 44NKHTYU alloy, matrix, alloying elements.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-11-12-965-966

#### REFERENCES

1. Gorelik S.S., Skakov Yu.A., Rastorguev L.N. *Rentgenograficheskii i elektronno-opticheskii analiz* [X-ray and Electron-Optical Analysis]. Moscow: Izd-vo MISIS, 1994, 328 p. (In Russ.).

2. Red'kina N.V. Development of thermocyclic processing schemes on the example of 44NKHTYU alloy. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*. 2013, no. 5 (102), pp. 358–361. (In Russ.).
3. Fedyukin V.K., Smagorinskii M.E. *Termotsiklicheskaya obrabotka metallov i detalei mashin* [Thermocyclic Processing of Metals and Machinery Parts]. Leningrad: Mashinostroenie, 1989, 255 p. (In Russ.).
4. Edwards E.H., Washburn J. Strain hardening of latent slip systems in zinc crystals. *JOM*. 1954, vol. 6, pp. 1239–1242.
5. Donchev A., Masset P.J., Schuetze M. Surface treatment of TiAl with fluorine for improved performance at elevated temperatures. *Material Research Society Library Proceedings*. 2009, vol. 1128, pp. 159–164.
6. Sylwestrowicz W., Hall E.O. The deformation and aging of mild steel. *Proceedings of the Physical Society. Section B*. 1951, vol. 64, no. 6, pp. 495–502.

#### Information about the author:

N.V. Red'kina, Postgraduate of the Chair "Physical Metallurgy, Heat and Plastic Treatment of Metals" (rednatvik@gmail.com)

Received October 3, 2018  
Revised July 6, 2020  
Accepted July 7, 2020