

УДК 620

В.А. Скуднов, Н.В. Редькина, С.В. Харитонов

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА СПЛАВА 44НХТЮ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты экспериментального исследования циклической закалки сплава 44НХТЮ с разным количеством циклов. Обоснована возможность интенсификации процесса с помощью предложенной термической обработки.

Ключевые слова: дисперсионно твердеющий сплав, термоциклическая обработка, закалка, рентгеноструктурный анализ, испытание на релаксацию, микроструктура.

Сплав 44НХТЮ является дисперсионно твердеющим элинваром на основе системы Fe-Ni, который сохраняет температурную стабильность модуля упругости до 100-400⁰С. Для получения оптимальных механических и физических свойств дисперсионно твердеющие элинвары подвергают закалке и старению. После закалки в воду с 900-950⁰С формируется структура, сплав становится высокопластичным и может подвергаться штамповке и другой механической обработке. Чем мельче зерно, тем более стабильное структурное состояние сплава. Известно, что ТЦО позволяет интенсифицировать термическую обработку и сильнее измельчает зерно, чем закалка. Поэтому целью данной работы послужило исследование циклической закалки сплава 44НХТЮ. Химический состав сплава приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплавов с температурно стабильным модулем упругости, %

| Марка сплава | C | Si | Mn | Fe | Ni | Cr | Mo | Ti | Al | S | P | ГОСТ |
|--------------|-------|---------|---------|-----|-----------|---------|----|---------|---------|---|---|------------|
| 44 НХТЮ | «0,05 | 0,5-0,8 | 0,5-0,8 | Осн | 43,5-45,5 | 5,2-5,8 | - | 2,2-2,7 | 0,5-1,0 | - | - | ГОСТ 10994 |

В работе исследовались образцы, вырезанные из прутков диаметром 15 мм и высотой 10 мм.

Термическую обработку по экспериментальным режимам, приведенным в табл. 2, проводили в лабораторных муфельных электрических печах сопротивления. Регулирование температуры – автоматическое. Температура измерялась с помощью термопары типа хромель-алюмель и потенциометра КСП-3, класс точности 0,5. Точность регулирования и измерения ±10⁰С. Измерение твердости производилось по методу Роквелла. Для выявления микроструктуры применяли электролитическое травление в 20%-ном растворе щавелевой кислоты. Микроструктура шлифа исследовалась под микроскопом МИМ-7 при увеличении x130.

Съёмка рентгенограмм производилась на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-2. Режимы съёмки: материал анода – Fe, λ(Fe)=1930 X, U-25 кВ, I-0,5 мА, щели: 1мм -2мм. Результаты расчёта рентгенограмм в 3-х состояниях приведены в табл. 3.

Расшифровка рентгенограмм производилась, исходя из начального угла Вульфа-Брегга 2θ с учётом масштаба. Вычислялись соответствующие углы для всех характеристических линий спектра. Затем определялась относительная интенсивность всех линий с учётом матричной линии, имеющей относительную интенсивность 1,0. По уравнению Вульфа-Брегга определялись межплоскостные расстояния d/n [1]:

$$d/n = \lambda / 2 \sin \theta. \quad (1)$$

Величину минимальной плотности дислокаций в сплаве (ρ) определяли с помощью физической ширины первой и последней линий рентгенограммы и оценивали по формуле [1]:

$$\rho = \frac{3}{D^2}, \quad (2)$$

где D – размеры блоков, см.

Таблица 2

Режимы термоциклической обработки сплава 44НХТЮ

| № режима (образца) | Режим термической обработки |
|--------------------|---|
| 1 | ТЦО 950±350, 3 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 2 | ТЦО 950±350, 4 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 3 | ТЦО 950±350, 5 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 4 | ТЦО 950±350, 6 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 5 | ТЦО 950±350, 7 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 6 | ТЦО 950±350, 8 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 7 | ТЦО 950±350, 9 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 8 | ТЦО 950±350, 10 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде) |
| 9 | Закалка 910±10°, время выдержки 30мин, охлаждение в воде (ГОСТ 10994-74) |

Таблица 3

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов из сплава 44НХТЮ по режимам табл. 2

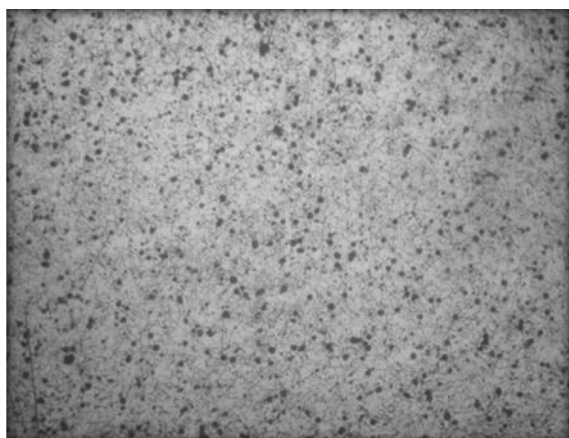
| Интенсивность линий по режимам табл. 1 | | | | | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Номер линии | 9 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Предполагаемая фаза |
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 25 | 14 | 11 | 15 | 13 | 12 | 11 | 10 | Ni ₃ Ti |
| 2 | 125 | 68 | 51 | 68 | 62 | 54 | 52 | 46 | γ |
| 3 | 10 | 7 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | Ni ₃ (Ti,Al), Fe ₂ Ti |
| 4 | 40 | 33 | 25 | 29 | 29 | 21 | 24 | 21 | γ |
| 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | Cr ₂ Ti |
| 6 | 15 | 18 | 16 | 15 | 17 | 9 | 14 | 10 | γ |
| 7 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | Cr ₂ Ti |
| 8 | 35 | 29 | 28 | 30 | 32 | 18 | 24 | 17 | γ |
| | - | 24 | 18 | 23 | 21 | 20 | 28 | 24 | HRC |

Таблица 4

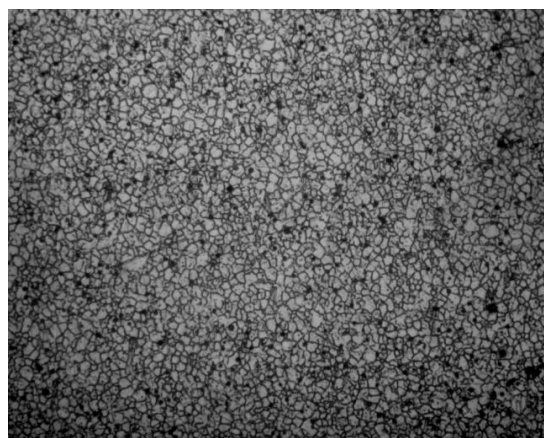
Результат исследования микроструктуры образцов из сплава 44НХТЮ, обработанных по режимам табл. 2

| Номер режима (табл. 2) | Твердость, HRB | Плотность дислокаций Q , см^{-2} | Балл зерна |
|------------------------|----------------|---|------------|
| 9 | 86 | $4,6 \times 10^9$ | - |
| 2 | 102 | $8,1 \times 10^9$ | 9 |

Микроструктуры сплава 44НХТЮ после различных термических обработок представлены на рис. 1



а)



б)

Рис. 1. Структура образцов из сплава 44 НХТЮ после термической обработки, $\times 130$:
 а - акалка $910 \pm 10^\circ$, время выдержки 30 мин, охлаждение в воде (ГОСТ 10994-74);
 б - ТЦО 950 ± 350 , 4 цикла (охлаждающая среда-воздух, окончательное охлаждение в воде)

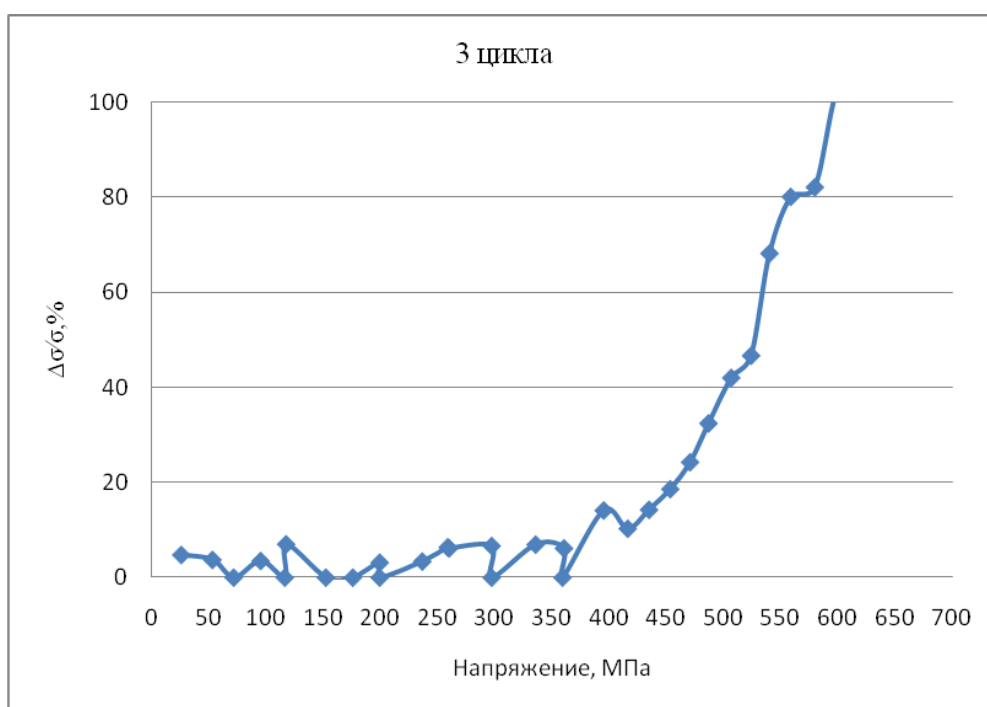


Рис. 2. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 1 после трех циклов

По приведенным фотографиям микроструктуры видно, что в результате четырехразового циклирования закалки зерно получается более мелким, чем при обычной закалке. Кроме того, режим 2 позволяет получить наиболее мелкое зерно, высокую твердость и плотность дислокаций, а, следовательно и более высокую прочность сплава по сравнению с режимом 9 табл. 2.

Результаты испытаний на релаксацию образцов из сплава 44НХТЮ представлены на рис. 2-9.

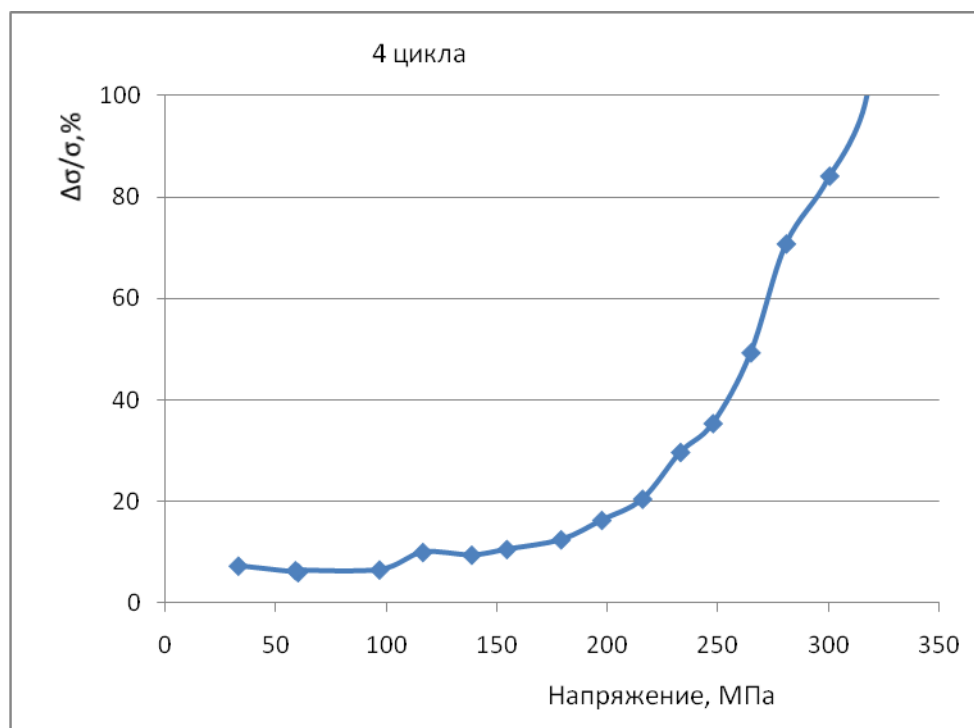


Рис. 3. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 2 после четырех циклов

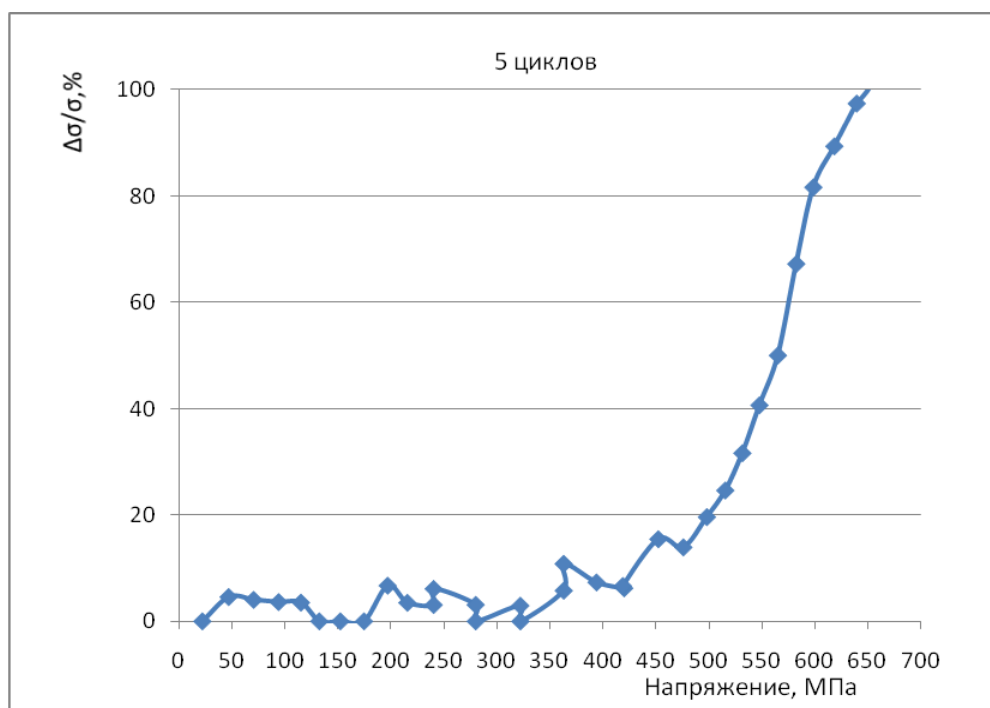


Рис. 4. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 3 после пяти циклов

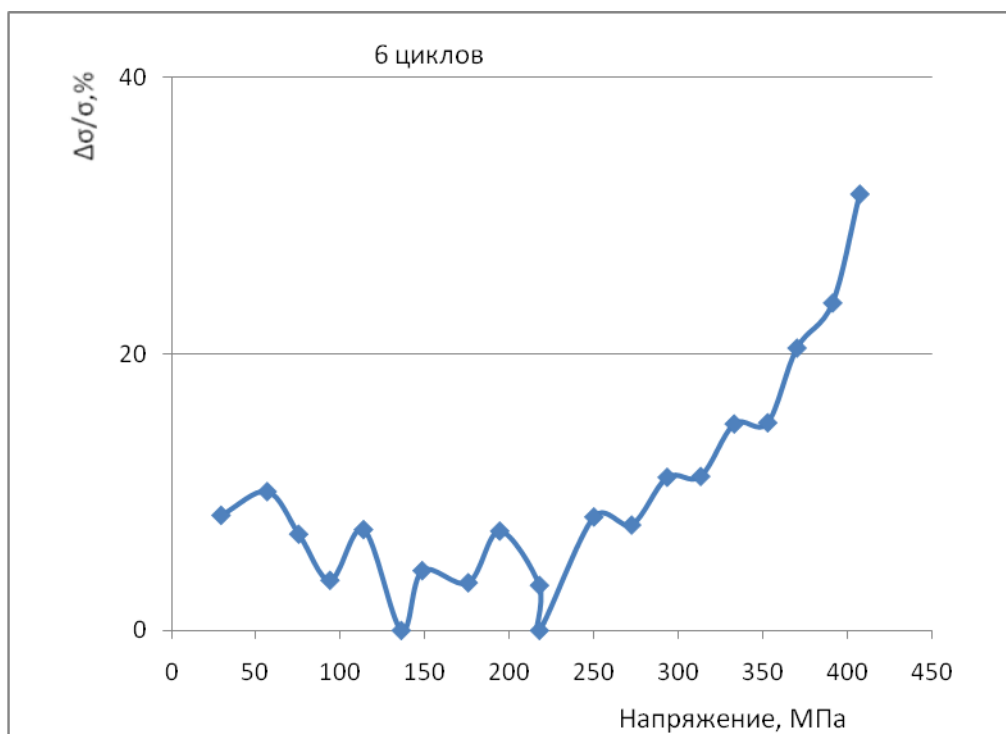


Рис. 5. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 4 после шести циклов

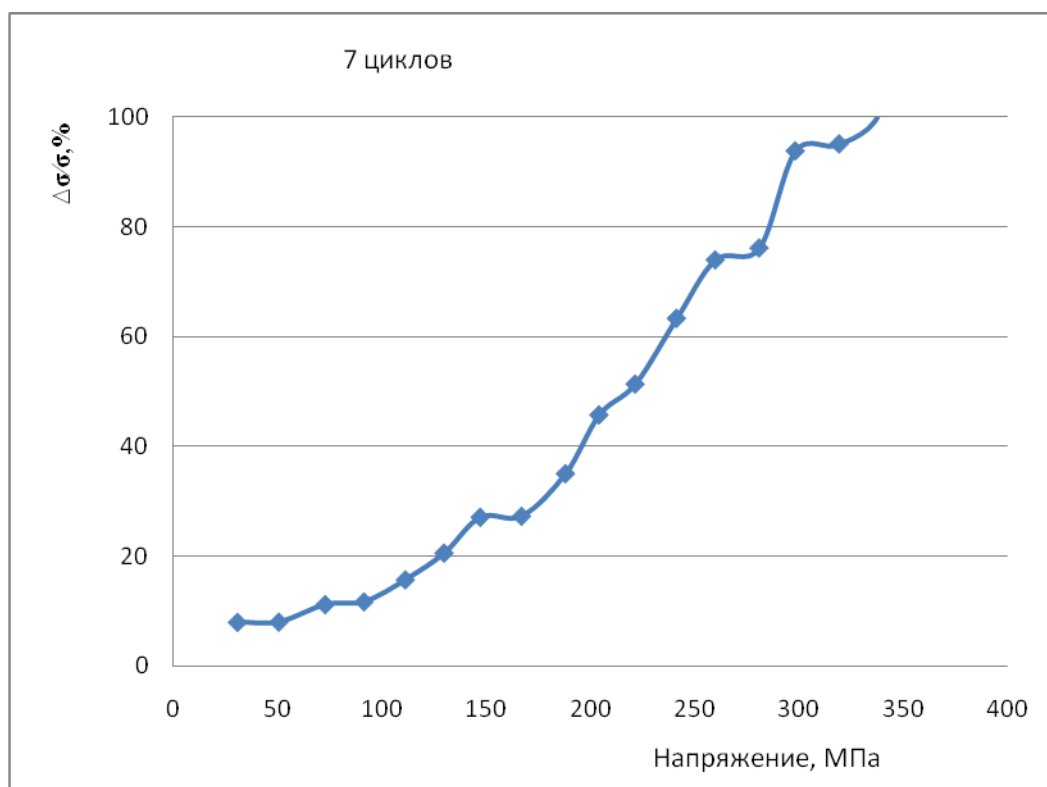


Рис. 6. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 5 после семи циклов

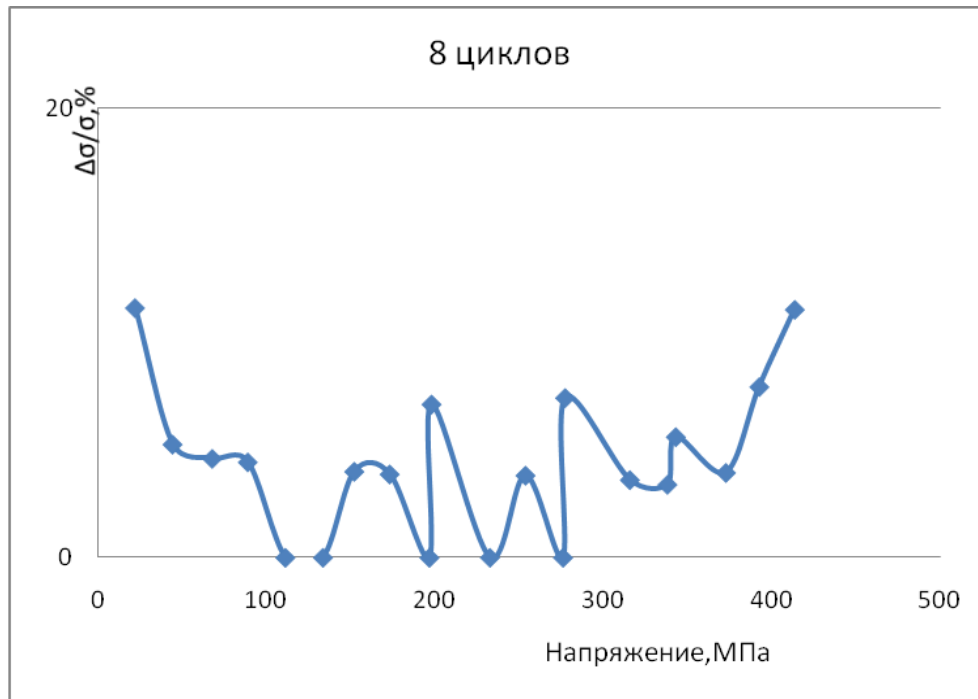


Рис. 7. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 6 после восьми циклов

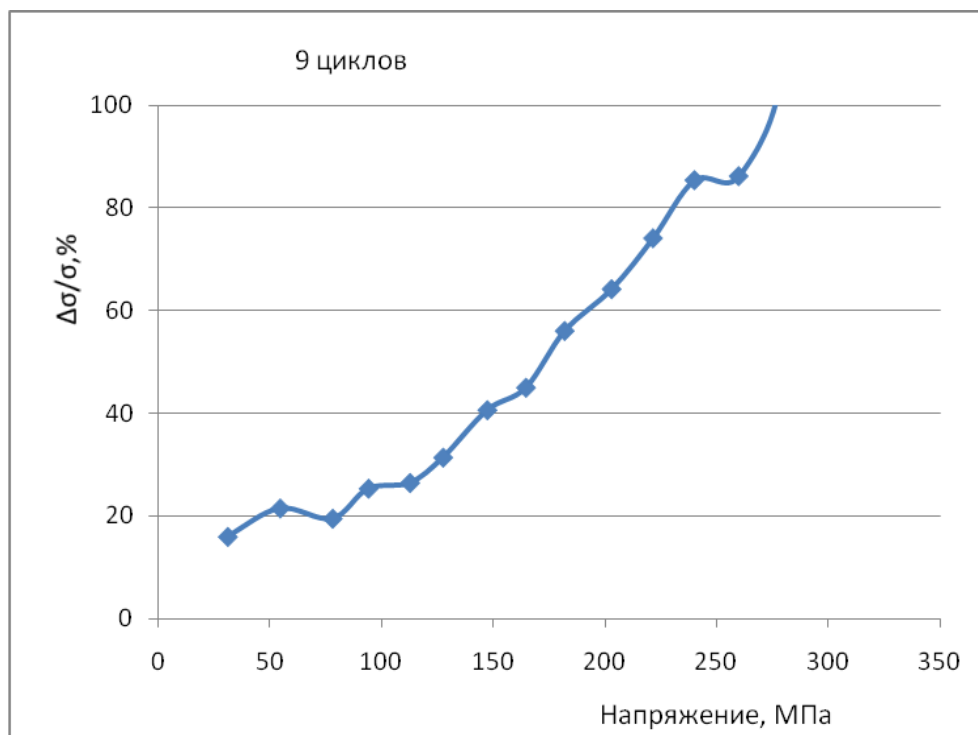


Рис. 8. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 7 после девяти циклов

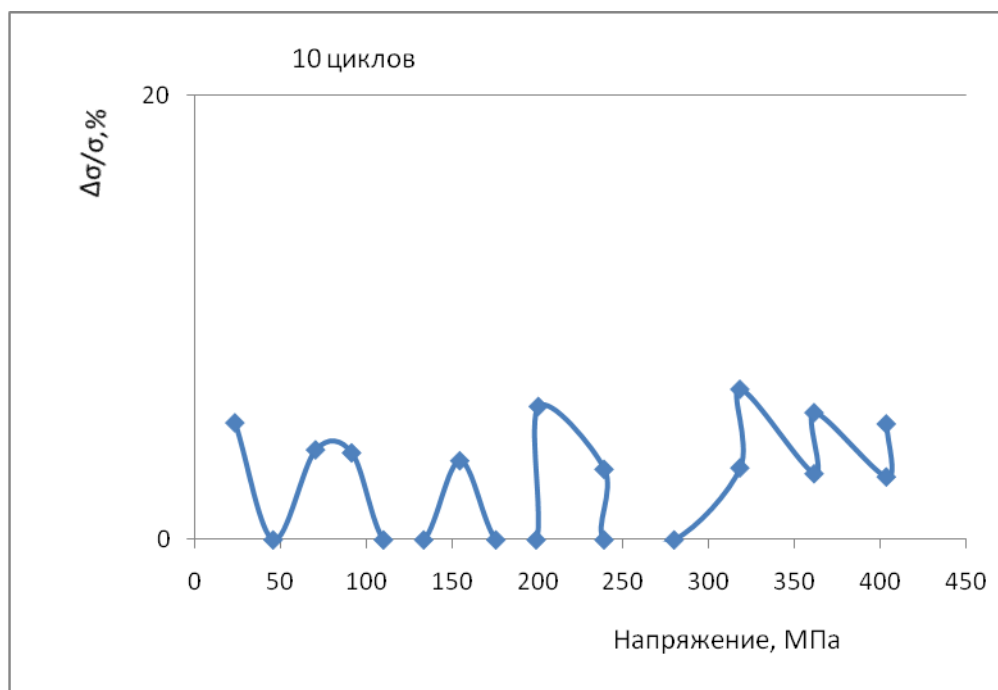


Рис. 9. График связи параметров релаксации напряжений с уровнем приложенного напряжения образца, обработанного по режиму 8 после десяти циклов

Результаты испытаний на релаксацию образцов из сплава 44НХТЮ, обработанных по режимам табл. 2, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты исследованных образцов из сплава 44НХТЮ

| | Номер режима термической обработки образцов, обработанных согласно табл. 2 | | | | | | | | |
|------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Закалка |
| σ_0 | 395 | 138 | 394 | 250 | 111 | 277 | 94 | 318 | - |
| σ_T | 627 | 298 | 666 | 407 | 347 | 414 | 287 | 404 | - |
| HRC,HRB | 21 HRC | 24 HRC | 18 HRC | 23 HRC | 21 HRC | 20 HRC | 28 HRC | 24 HRC | 86HRB |

Изменение интенсивностей спектральных линий рентгенограмм образцов после рентгеноструктурного анализа образцов из сплава 44НХТЮ, обработанных по режимам табл. 2 и отличающихся разным количеством циклов закалки, представлены на рис. 10.

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов из сплава 44НХТЮ по режимам табл. 2 представлены в табл. 3.

Результаты механических испытаний образцов из сплава 44НХТЮ, обработанных по режимам табл. 2 представлены в табл. 5.

Из рис. 10 и табл. 3 видно, что количество выделенной фазы Cr_2Ti практически не меняется с изменением числа циклов при закалке. Количество фазы Ni_3Ti с увеличением числа циклов при закалке уменьшается. Наибольшая твердость сплава достигается при 9 циклах, когда количество всех фаз наименьшее по сравнению с термическими обработками

по режимам 1-6 табл. 2, при дальнейшем снижении общего количества всех фаз (10 циклов) твердость начинает падать.

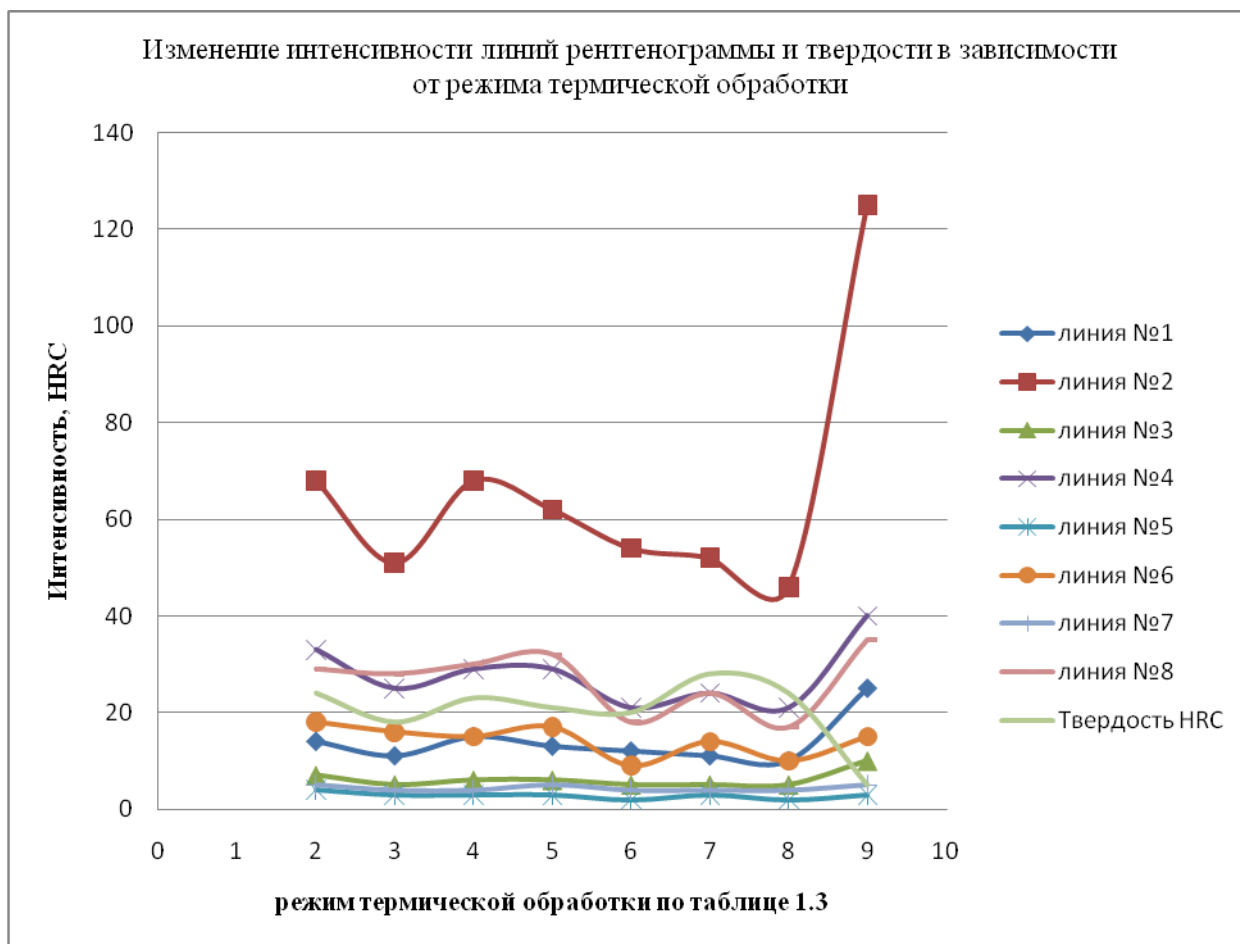


Рис. 10. Изменение интенсивностей спектральных линий 1-8 рентгенограмм образцов из сплава 44НХТЮ, обработанных по режимам табл. 1.3

Выводы

1. Применение термоциклической обработки позволяет эффективно улучшить микроструктуру элинварного сплава 44НХТЮ. Совершенствование структуры сплава при термоциклической обработке происходит вследствие термических напряжений, а также образования и растворения интерметаллидов. Плотность дислокаций после четырехразового термоциклирования закалки значительно выше, чем после обычной закалки в воду, что свидетельствует об увеличении прочности.

2. Термоциклирование закалки позволяет интенсифицировать процесс термической обработки и измельчить зерно. Полученные результаты следует использовать для оптимизации режима закалки элинварного сплава 44НХТЮ.

Библиографический список

1. **Миркин, Л.И.** Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: справочник / Л.И. Миркин. – М.: Машиностроение, 1979. – 135 с.
2. **Редькина, Н.В.** Влияние термоциклической обработки на структуру прецизионного сплава 44НХТЮ по сравнению со стандартными режимами термической обработки/ Н.В.Редькина,

В.А. Скуднов, С.В. Харитонов // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: тез. докл. IV междунар. конф., Москва, ИМЕТ РАН, 25-28 октября 2011 г. 2011. С. 389.

3. **Федюкин, В.К.** Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.

*Дата поступления
в редакцию 26.06.2012*

V.A. Skudnov, N.V. Redkina, S.V. Charitonov

THERMOCYCLIC HARDENING OF ALLOY 44HXTIO

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

Purpose: This paper deals with cyclic hardening alloy.

Design/methodology/approach: Research is proposed based on x-ray scattering techniques, methods for stress relaxation testing, rockwell hardness Test and microstructure analysis.

Findings Thermocyclic hardening to speed up the process of heat treatment and to grind grain.

Research limitation/implications: The present study provides a starting-point for further research in the thermocyclic treatment.

Originality/value: Moreover, the influence of the technological parameters of the thermocyclic treatment regime on the structural changes in alloy 44HXTIO is discovered and the most effective regime of this treatment is recommended.

Key words: dispersion hardened alloys, thermocyclic processing, hardening, x-ray scattering techniques, relaxation of pressure, microstructure.