



УДК 539.43;537.39

© 2008

Г. В. Степанов, А. И. Бабуцкий, А. В. Чижик, Б. А. Грязнов,  
Ю. С. Налимов

## Влияние обработки импульсным электрическим током на усталость нержавеющей стали X18H10T

(Представлено академиком НАН Украины В. Т. Троценко)

*It is shown that the treatment with a pulsed high-density electric current causes the increase of the fatigue limit of Kh18N10T steel by more than 50%.*

Имеющиеся результаты исследований по влиянию обработки импульсным электрическим током (ИЭТ) на механические свойства металлических материалов свидетельствуют о ее положительном воздействии на характеристики сопротивления усталости [1–3]. К настоящему времени предложен ряд моделей, объясняющих это влияние (см., например, [4, 5]), однако следует признать, что прогресса в понимании механизма влияния обработки ИЭТ на характеристики прочности и, в частности, усталости металлических материалов не достигнуто. Кроме того, актуальной является задача получения новых экспериментальных данных по влиянию указанной обработки на усталость металлических конструкционных материалов. Ниже приведены результаты исследования влияния обработки ИЭТ на усталость стали X18H10T.

**Методика и результаты усталостных испытаний.** Для исследований использовали образцы из нержавеющей стали X18H10T с рабочим сечением 4 мм × 5 мм (эскиз образца приведен на рис. 1, а). При усталостных испытаниях образец консольно (рис. 1, б) закрепляли в захвате установки — электродинамического вибростенда [6]. Всего было испытано пять групп образцов: одна — без обработки (состояние поставки) и четыре — после обработки ИЭТ при различных режимах (см. табл. 1).

При обработке ИЭТ образцы подсоединяли к клеммам генератора импульсных токов [7]. Через каждый образец пропускали по три импульса тока со значениями амплитуды, приведенными в табл. 1.

Результаты испытаний представлены на рис. 2, они свидетельствуют о существенном эффекте влияния ИЭТ на характеристики сопротивления усталости стали X18H10T. Обработка при плотности тока  $j = 1 \text{ кА/мм}^2$  (режим 1) приводит к незначительному повышению этих характеристик. При плотности тока  $j = 2 \text{ кА/мм}^2$  (режим 2) предел выносливости

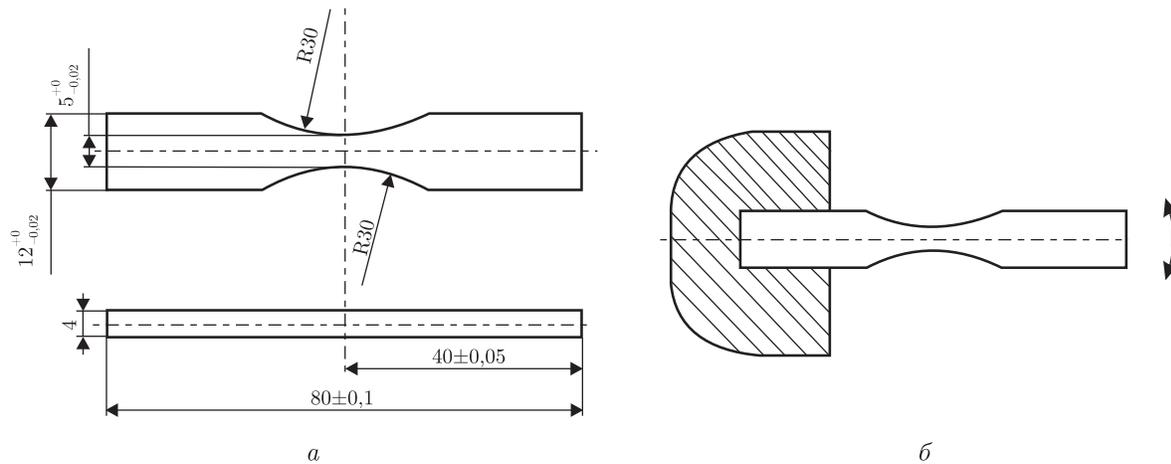


Рис. 1. Эскиз образца для усталостных испытаний (а) и схема его нагружения (б)

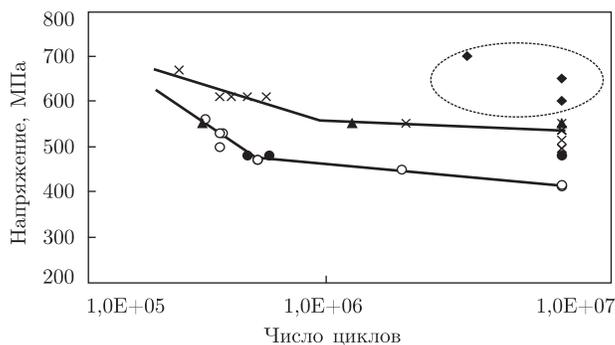


Рис. 2. Кривые усталости образцов из стали X18H10T в исходном состоянии (о) и после обработки ИЭТ: режим 1 (●), режим 2 (×), режим 3 (◇), режим 4 (Δ)

стали повышается практически на 30%. Рост плотности тока при обработке до величины  $j = 4 \text{ кА/мм}^2$  (режим 3) приводит к возрастанию предела выносливости более чем на 50%. Однако дальнейшее увеличение плотности тока до  $j = 5,75 \text{ кА/мм}^2$  (режим 4) вызывает снижение характеристик сопротивления усталости.

**Результаты рентгеноструктурного анализа.** Для получения сопоставимых результатов по изучению изменений в тонкой структуре материала под воздействием ИЭТ исследования проводили на образцах, которые изготавливали из одного и того же листа металла при фиксированном направлении вырезки. Рентгеноструктурный анализ выполнялся на дифрактометре “Дрон-3 М” с автоматизированной текстурной приставкой. В качестве источника излучения использовали рентгеновскую трубку с медным анодом  $\text{Cu-K}\alpha$  с длиной волны  $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ .

Таблица 1. Режимы обработки образцов ИЭТ

Номер режима	$C$ , мкФ	$U$ , кВ	$I$ , кА
1	150	1,8	20
2	150	3,63	40
3	600	3,46	80
4	600	5,0	115

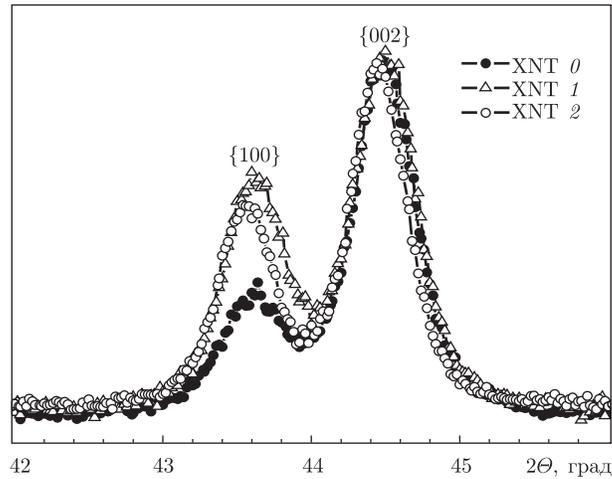


Рис. 3. “ $\Theta$ – $2\Theta$ ” рентгенограммы образцов из стали X18Ni10T без обработки (индекс 0) и с обработкой ИЭТ: амплитуда тока 80 кА (1) и 40 кА (2)

Полученные результаты указывают на изменения в кристаллической структуре материала в зависимости от режимов обработки ИЭТ, в частности, заметны различия в интенсивности для линии семейства плоскостей  $\{100\}$  (рис. 3). При режиме отработки с амплитудой тока 80 кА интенсивность линии  $\{100\}$  возрастает, а при режиме с уменьшенной вдвое амплитудой — снижается. Полученные данные свидетельствуют о том, что степень субструктурных изменений при обработке зависит от величины используемого тока.

При обработке происходит некоторое изменение ориентировки кристаллов, из сопоставления вида рентгенограмм можно говорить о прохождении процессов текстурирования наиболее сильно выраженных в плоскостях семейства  $\{100\}$  и близких им  $\{002\}$ . По-видимому, это приводит к упорядочению кристаллической структуры материала в направлении действия тока, что в итоге сказывается на результатах усталостных испытаний.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Обработка ИЭТ приводит к повышению характеристик сопротивления усталости стали X18Ni10T: использованные режимы обработки позволяют повысить предел усталости более чем на 50%, что может существенно сказаться на долговечности деталей и элементов конструкций при их циклическом нагружении.

Один из возможных механизмов данного эффекта заключается в процессах текстурирования, упорядочивания кристаллической структуры металла под воздействием ИЭТ. Для уточнения факторов, определяющих эффект влияния ИЭТ, необходимо проведение дальнейших, в частности металлофизических, исследований.

1. *Доронин Ю. Л.* Исследование возможностей повышения конструкционных и эксплуатационных характеристик деталей летательных аппаратов импульсным воздействием высокоэнергетического электромагнитного поля: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1992. – 18 с.
2. *Попов О. В., Таненберг Д. Ю., Власенков С. В., Венрев А. А.* Влияние обработки импульсным электрическим током на прочностные и пластические свойства титановых сплавов: Тез. докл. на II Всесоюз. конф. “Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов”. Ч. 1. – Николаев: РИО Облполиграфиздата, 1990. – 6 с.
3. *Коновалов С. В., Соснин О. И. и др.* Повышение надежности изделий из среднеуглеродистых сталей импульсным токовым воздействием // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 3. – С. 19–23.

4. *Беклемішев Н. Н., Корягин Н. И., Шапиро Г. С.* Влияние локально неоднородного импульсного электромагнитного поля на пластичность и прочность проводящих материалов // *Металлы.* – 1984. – № 4. – С. 184–187.
5. *Соснин О. В., Громов В. Е., Козлов Э. В.* Электростимулированная малоцикловая усталость. – Москва: Недр Комуникейшенс Лтд, 2000. – 208 с.
6. *Усталость жаропрочных сплавов и рабочих лопаток ГТД / Б. А. Грязнов, С. С. Городецкий, Ю. С. Налимов, и др.* Отв. ред. В. Т. Трощенко. – Киев: Наук. думка, 1992. – 264 с.
7. *Степанов Г. В., Бабуцкий А. И., Мамеев И. А.* Нестационарное напряженно-деформированное состояние в длинном стержне, вызванное импульсом электрического тока высокой плотности // *Пробл. прочности.* – 2004. – № 4. – С. 60–67.

*Институт проблем прочности  
им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев*

*Поступило в редакцию 05.05.2008*