

# МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ

© 2025 г. Александр Викторович Кочнев<sup>1\*</sup>, М.Б. Ригмант<sup>1</sup>, М.К. Корх<sup>1</sup>,  
Н.В. Гордеев<sup>1,2</sup>, А.М. Матосян<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – ИФМ УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18

<sup>2</sup> – ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002  
Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

\* - [kochnevav@imp.uran.ru](mailto:kochnevav@imp.uran.ru)

Испытания на усталостную прочность достаточно важны для аустенитных сталей [1], так как их свойства могут изменяться во время эксплуатации. В ходе деформации возможно образование фазы мартенсита деформации, что можно обнаружить по изменению магнитных свойств.

Целью работы было исследование изменения относительной магнитной проницаемости образцов из аустенитной хромоникелевой стали во время и после циклических испытаний на изгиб.

Испытания проводились на специальной лабораторной установке для циклических испытаний на изгиб. Образцы из аустенитной хромоникелевой стали были вырезаны на электроэрозионном станке. Толщина образцов составляла 1,9-2,1 мм. Рабочая длина (длина колеблющегося участка) – 79 мм. Общая длина образца составляла 100 мм. Образец закрепляется по типу жёсткой заделки, после чего к свободному концу прикладывается усилие, приводящее к изгибу образца. Прилагаемая нагрузка варьировалась путём изменения амплитуды отклонения образца от нейтрального положения. Для измерения относительной магнитной проницаемости вблизи от места крепления образца устанавливался первичный преобразователь прибора «ФерроКОМПАС». Сигнал с датчика Холла в виде напряжения поступал на прибор и далее через АЦП L-Card E14-140 на ПК, где записывался лог-файл программой Powergraph.

Для образцов 3-5 была снята зависимость относительной магнитной проницаемости в процессе циклирования. Пример для одного из образцов представлен на рис. 1. Ожидаемо, в конце испытания происходит резкое возрастание относительной магнитной проницаемости, связанное с образованием мартенсита деформации.

Согласно эпюре напряжений максимальную нагрузку при типе крепления «жёсткая заделка» образец испытывает в месте крепления, что хорошо согласуется с результатами эксперимента, так как разрушение образца происходит именно в данной области. Кроме

того, в месте излома образуется наибольшее количество мартенсита, что отражено в табл. 1.

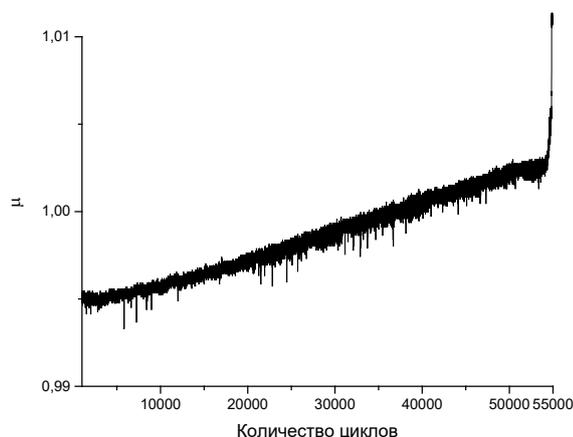


Рис. 1. Зависимость относительной магнитной проницаемости от количества циклов

Необходимо отметить, что значения  $\mu$  у излома выше, чем на графиках, что связано с пространственными ограничениями закрепления первичного преобразователя (он закреплён на участке 6,5-6,9 мм). Кроме того, с уменьшением нагрузки различие в значениях магнитной проницаемости падает (т.е. образуется меньше количество мартенсита деформации).

Таблица 1

**Изменение относительной магнитной проницаемости по длине образца №1.**

| Расстояние от свободного края, см | 0,5   | 1,5   | 2,5   | 3,5   | 4,5   | 5,5   | 6,5   | 7,5   | 7,9 (излом) |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| $\mu$                             | 1,006 | 1,006 | 1,007 | 1,007 | 1,008 | 1,011 | 1,031 | 1,098 | 1,106       |

Были проведены исследования по мониторингу относительной магнитной проницаемости ( $\mu$ ) образцов из аустенитных хромоникелевых сталей при циклических испытаниях на изгиб. Было показано, что при разрушении образца, как и ожидалось, наблюдается резкое увеличение магнитной проницаемости, связанное с образованием мартенсита деформации. Рост  $\mu$  падает по длине образца и с уменьшением приложенной нагрузки.

*Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», № 122021000030-1).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Puchi-Cabrera E.S., Staia M.H., Tovar C., Ochoa-Pérez E.A. High cycle fatigue of 316L stainless steel // International Journal of Fatigue. 2008. V. 30. P. 2140–2146.