

А. В. КОЧНЕВ

М. Б. РИГМАНТ, канд. физ.-мат. наук

М. К. КОРХ, канд. техн. наук

Н. В. ГОРДЕЕВ

А. М. МАТОСЯН

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН (Екатеринбург, Россия)

КОНТРОЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ФАЗЫ МАРТЕНСИТА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 10X18H10T

Аннотация

Были проведены циклические испытания на изгиб образцов из аустенитной хромоникелевой стали 10X18H10T. Измерения относительной магнитной проницаемости во время испытаний показали, что при разрушении материала происходит значительный рост данного параметра, связанный с образованием мартенсита деформации в месте крепления образца, которое испытывает максимальные напряжения при нагрузке. Дополнительный эксперимент показал, что образование мартенсита начинается до непосредственного разрушения.

Ключевые слова: относительная магнитная проницаемость, аустенитная сталь, мартенсит деформации.

Введение

Аустенитные стали являются классом материалов, которые широко используются для конструкций ответственного назначения, обладающих повышенной коррозионной стойкостью, жаропрочностью и пластичностью. Во время эксплуатации в результате воздействия различного рода нагрузок фазовый состав данных сталей может меняться вследствие фазового перехода аустенит – мартенсит деформации. Образование мартенсита влечёт за собой снижение пластичности и коррозионной стойкости стали [1], что в дальнейшем может служить причиной ее разрушения. В связи с этим интересно рассмотреть, как циклические нагрузки влияют на образование мартенсита деформации и свойства аустенитной стали, а также оценить возможность обнаружения по магнитным свойствам зон предразрушения материала, в которых происходит накопление мартенсита деформации.

Исследования нержавеющей сталей на усталостную прочность достаточно хорошо представлены в литературе, где описаны как теоретические выкладки [2], так и различные варианты циклических деформаций: от переменных одноосных нагрузок растяжения сжатия [3], изгиба [4] до испытаний на фреттинг-усталость [5]. Однако авторам этих работ обычно интересны только механические свойства металла, в то время как вопросы фазовых превращений в них не затрагиваются. Тем не менее, в работах [6, 7] рассматривалось приложение ультразвуковых и вихретоковых методов для слежения за

содержанием мартенсита, однако там не была рассмотрена возможность применения магнитных методов контроля фазового состава.

Вследствие того, что при изгибе в сталях такого класса может образовываться очень малое количество мартенсита деформации (менее 1%), информативным параметром при контроле является относительная магнитная проницаемость (μ), которая чувствительна даже к малым изменениям магнитных свойств [8].

Таким образом, целью данной работы было выявление образования мартенсита деформации по изменению μ образцов из аустенитной хромоникелевой стали во время и после циклических испытаний на изгиб.

Методы исследования

В работе были исследованы образцы из аустенитной хромоникелевой стали, вырезанные на электроэрозионном станке. Химический состав стали приведен в таблице 1. Размеры образцов: 2x8x100 мм.

Таблица 1. Химический состав аустенитной хромоникелевой стали, %

C	Si	P	S	Cr	Ni	Mn	Ti	Fe
0,094	0,59	0,020	0,013	17,19	9,83	1,21	0,58	ост.

Исследования проводились на специальной лабораторной установке для циклических испытаний на изгиб, внешний вид которой представлен на рис.1.

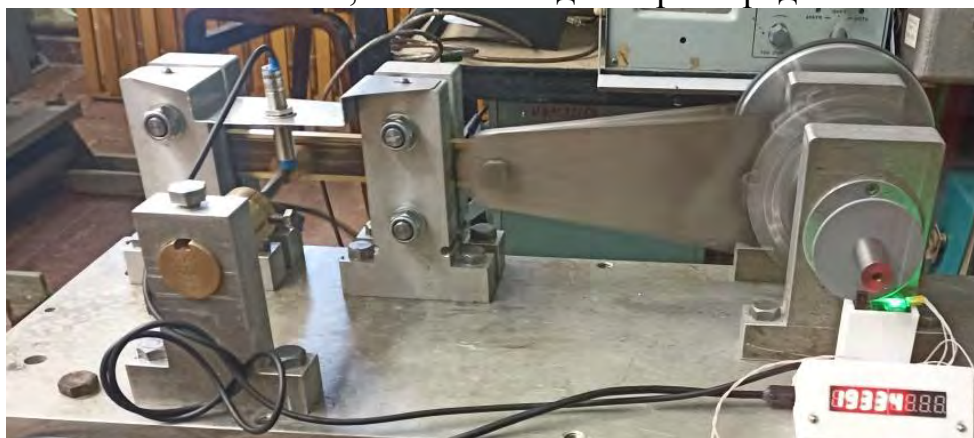


Рис. 1. Экспериментальная лабораторная установка для циклических испытаний на изгиб

В установке реализован консольный тип закрепления: один конец образца жестко зафиксирован, к свободному концу прикладывается усилие, приводящее к изгибу образца. Рабочая длина (длина колеблющегося участка) – 79 мм. Прилагаемая нагрузка варьировалась путём изменения амплитуды отклонения образца от нейтрального положения (табл. 2).

Таблица 2. Режимы циклирования образцов

Образец, №	1	2	3	4	5	6	7	8
Амплитуда колебаний, мм	5,37	5,7	5,7	6,0	6,0	6,0	7,0	8,3

Для измерения μ вблизи от места крепления (на расстояние 65–69 мм от свободного конца) образца устанавливался первичный преобразователь лабораторного прибора «ФерроКОМПАС», являющегося собственной разработкой авторов статьи. Сигнал с датчика поступал на прибор и далее через АЦП на ПК, где велась запись лога. Начальная величина μ образцов составила 1,003. Образцы № 2 и 8 после изготовления подвергались ручной шлифовке, в результате чего их μ выросла до значений 1,012 и 1,006, соответственно.

Результаты

Для образцов 1–6 были сняты зависимости изменения μ от количества циклов N непосредственно в процессе испытаний, примеры которых представлены на рис. 2.

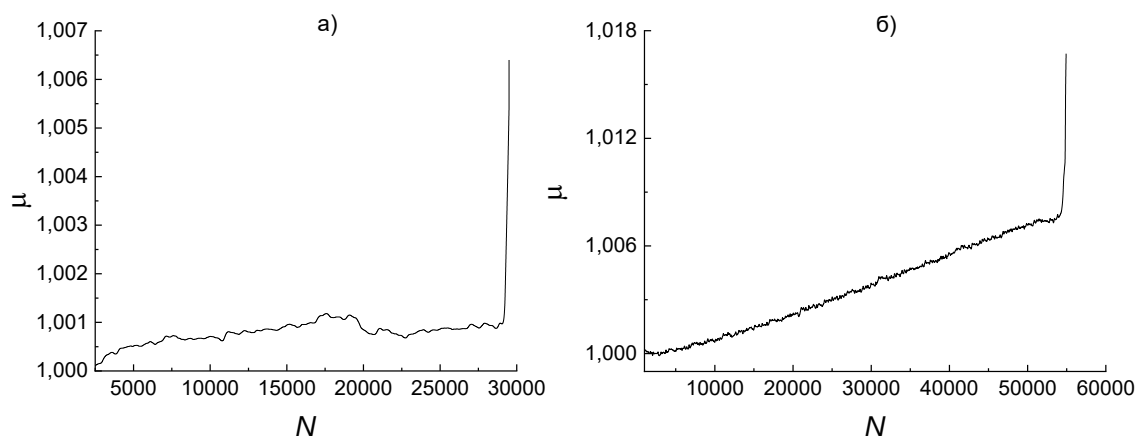


Рис. 2. Зависимость относительной магнитной проницаемости от количества циклов N : а) образец №6; б) образец №3

Как видно из рисунка, в конце испытания происходит резкое возрастание относительной магнитной проницаемости, связанное с образованием мартенсита деформации в месте разрушения образца.

На рис. 3 показано распределение величины μ по длине образца l от свободного конца до места излома.

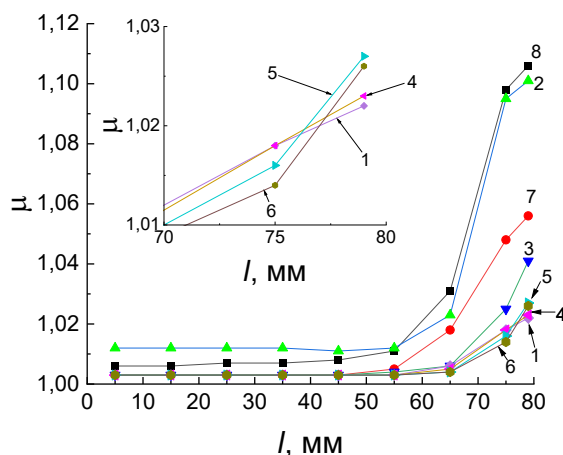


Рис. 3. Изменение относительной магнитной проницаемости по длине образца после испытаний на изгиб, l – расстояние от свободного конца образца

Как видно на представленном рисунке, практически по всей длине сохраняется исходное значение относительной магнитной проницаемости. Значительные изменения μ наблюдаются по мере приближения к месту разрушения, где произошёл фазовый переход аустенит – мартенсит деформации. Величина μ падает с уменьшением амплитуды изгиба, так как в месте излома образуется меньшее количество мартенсита деформации.

Также было установлено, что подготовка поверхности образцов значительно влияет на полученный результат. После разрушения в зоне излома μ образцов № 2 и 8, подвергавшихся предварительной шлифовке, значительно превысила μ нешлифованных образцов и составила 1,101 и 1,106, соответственно.

Во время циклирования невозможно измерение μ непосредственно в зоне, испытывающей максимальные нагрузки, т.к. она располагается в месте крепления образца в держателе установки. Для наблюдения за образованием мартенсита деформации непосредственно в месте будущего разрушения образец в процессе циклирования периодически вынимали из установки, измеряли μ в области максимальной нагрузки и помещали обратно в установку для продолжения нагружения. Амплитуда изгиба составляла 6 мм. Полученная зависимость величины μ от количества циклов N представлена на рис. 4.

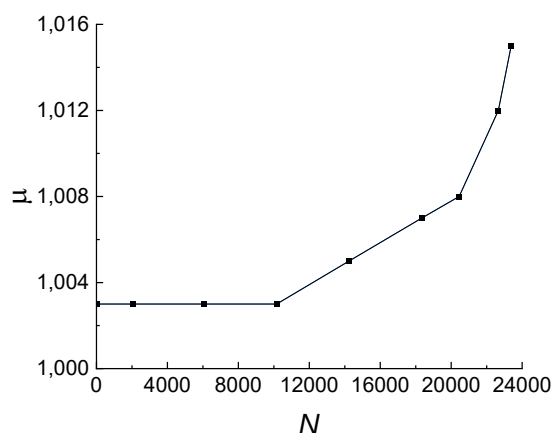


Рис. 4. – Изменение относительной магнитной проницаемости в месте закрепления образца в процессе циклирования

Увеличение относительной магнитной проницаемости в месте крепления образца началось после десяти тысяч циклов, то есть можно говорить о старте образования мартенсита деформации. После двадцати тысяч циклов рост μ ускоряется и заканчивается разрушением образца.

Выводы

Проведены исследования по мониторингу изменения относительной магнитной проницаемости (μ) образцов из аустенитной хромоникелевой стали при циклических испытаниях на изгиб. Показано, что при разрушении образца наблюдается резкое увеличение μ в месте излома. Это связано с образованием мартенсита деформации, которое начинается задолго до разрушения образца.

Использование μ в качестве информативного параметра позволяет выявить места, в которых произойдет разрушение материала.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корнеев, А. Е.** Влияние деформационного мартенсита на свойства аустенитной стали 316L [Текст] / А. Е. Корнеев, И. Л. Харина // Тяжелое машиностроение. – 2014, №11–12. – С.14-20.

2. **Шанявский, А. А.** Новые парадигмы в описании усталости металлов [Текст] / А. А. Шанявский, А. П. Солдатенков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – Механика. – 2019, №1. – С.196-207.

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

4. **Berns, H.** Fatigue and Structural Changes of High Interstitial Stainless Austenitic Steels [Текст] / H. Berns, V. G. Gavriljuk, N. Nabiran, Yu. N. Petrov, S. Riedner, L. N. Trophimova // Steel Research International. – 2010. – V.81. – P.299-307.

5. **Farrahi, G. H.** Fretting fatigue behavior of 316L stainless steel under combined loading conditions [Текст] / G. H. Farrahi, K. Minaii, H. Bahai // International Journal of Fatigue. – 2019. – V. 128. – 105206.

6. **Mishakin, V.** Prediction of fatigue life of metastable austenitic steel by a combination of acoustic and eddy current data [Текст] / V. Mishakin, A. Gonchar, K. Kurashkin, M. Kachanov // International Journal of Fatigue. – 2020. – V. 141. – 105846.

7. **Мишакин, В. В.** Мониторинг усталостного разрушения силового элемента конструкции вихретоковым и акустическим методами [Текст] / В. В. Мишакин, А. В. Гончар, К. В. Курашкин, В. А. Ключников, М. С. Аносов // Вестник научно-технического развития. – 2021, №162. – С.46-54.

8. **Ригмант, М. Б.** Методы и средства контроля фазового состава двух- и трехфазных аустенитных сталей [Текст] / М. Б. Ригмант // Дефектоскопия. – 2018, №2. – С.27-40.

Контакты:

kochnevav@imp.uran.ru (Кочнев Александр Викторович);

rigmant@imp.uran.ru (Ригмант Михаил Борисович);

korkhmk@imp.uran.ru (Корх Михаил Константинович);

gordeev.nikita@urfu.me (Гордеев Никита Витальевич);

matosian01@gmail.com (Матосян Антон Михайлович)