

# ВЛИЯНИЯ ДВУХОСНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ПРУЖИННОЙ СТАЛИ 65Г НА ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ГАРМОНИЧЕСКОГО СПЕКТРА, ПОЛУЧЕННОГО ПО ПЕТЛЕ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

© 2024 г. Игорь Сергеевич Малахов<sup>1\*</sup>, Р. А. Соколов<sup>1\*\*</sup>, К. Р. Муратов<sup>1\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> – Тюменский индустриальный университет, 625000 Тюмень, ул. Володарского, д.38

\* - [malahov.u.c@gmail.com](mailto:malahov.u.c@gmail.com); \*\* - [falcon.rs@mail.ru](mailto:falcon.rs@mail.ru); \*\*\* - [muratovkr@tyuiu.ru](mailto:muratovkr@tyuiu.ru)

Исследуя магнитные свойства и структуру различных материалов при механическом воздействии, можно получить результаты, которые могут быть использованы, например, для определения механических напряжений и определения напряженно-деформированного состояния металлических объектов.

В данной работе одной из ключевых задач является исследование влияния напряженно-деформированного состояния, вызванного двухосным нагружением исследуемого образца пружинной стали, на ее магнитные параметры. Подобного рода исследования были проведены, например, в работе [1].

Петля магнитного гистерезиса является наиболее информативной характеристикой ферромагнетиков, включает в себя многие магнитные параметры материала, такие как намагниченность, индукция насыщения, коэрцитивная сила и др. [2, 3].

Исследуемые образцы были изготовлены из стали 65Г в состоянии поставки.

Для создания сложного нагружения была использована лабораторная установка, позволяющая растягивать образец в двух взаимоперпендикулярных направлениях. Создаваемая нагрузка лежала в пределах упругой области для изучаемого материала. Было использовано как одноосное, так и двухосное нагружение. Максимальная нагрузка не превышала 10 МПа. Шаг нагрузки составлял 1 МПа. Для регистрации петель магнитного гистерезиса использовалось устройство АПС DIUS-1.15М. Регистрируемые петли преобразовывались во временной сигнал, который анализировался при помощи спектральной функции Фурье. Обработка данных и извлечение гармонических составляющих петли осуществлялось в программах [4, 5].

На рис. 1 представлены зависимости величины амплитуды  $A_k$ , где  $k$  – нечетное число, от механических напряжений  $\sigma$  (равномерного по двум осям растяжения) для петель, снятых при положении измерительного блока, совпадающего с вертикальной осью нагружения.

Из полученных экспериментальных данных следует, что при увеличении внешней двухосной растягивающей нагрузки, для остаточной индукции и коэрцитивной силы происходит однозначное изменение величины. В рассматриваемом диапазоне нагрузок изменение величины коэрцитивной силы лежит в пределах 4 % от начальных, для

остаточной индукции – 6 %. Изменение индукции насыщения в рассматриваемом диапазоне нагрузок происходит неоднозначно. Резкое падение значений для остаточной индукции и индукции насыщения в районе нагрузок, равных 5 МПа, возможно говорит о процессах перераспределения внутренних остаточных напряжений в образце. Эти изменения наиболее наглядно наблюдаются и для гармонического спектра, где изменения при этой нагрузке относительно первоначального значения могут достигать 40 %.

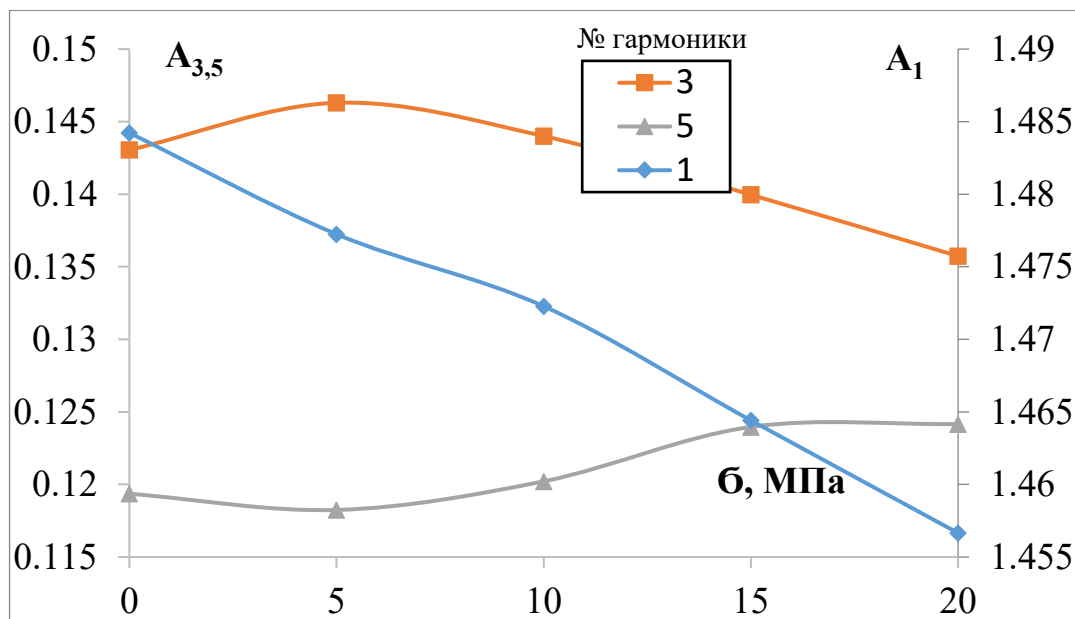


Рис. 1. Зависимости величины первой, третьей и пятой гармоник от величины внешней двухосной нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков В.Ф., Захаров В.А., Ульянов А.И., Сорокина С.В., Кудряшов М.Е. Влияние двухосной упругой деформации на коэрцитивную силу и локальную остаточную намагниченность конструкционных сталей // Дефектоскопия. 2010. № 7. С. 59—68.
2. Киренский Л.В. Ферромагнетизм и его применение. Москва: Учпедгиз, 1957. 560 с.
3. Чжан А.В. Процессы перемагничивания и доменная структура ферромагнетиков: монография. Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/130146> (дата обращения: 16.05.2023).
4. Соколов Р.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662386 Российская Федерация. Hysteresis: № 2022660697: заявл. 08.06.2022: опубл. 01.07.2022.
5. Муратов К.Р., Соколов Р.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022667731 Российская Федерация. Программа для определения гармонических составляющих дискретного сигнала "Спектр": № 2022667054: заявл. 16.09.2022: опубл. 23.09.2022.