

## К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРУЖЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

© 2021 г. Александр Николаевич Мушников\*, С.М. Задворкин\*\*, Е.А. Путилова\*\*\*  
Институт машиноведения УрО РАН, 620049, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34  
\* - [mushnikov@imach.uran.ru](mailto:mushnikov@imach.uran.ru), \*\* - [zadvorkin@imach.uran.ru](mailto:zadvorkin@imach.uran.ru), \*\*\* - [tuevaevgenya@mail.ru](mailto:tuevaevgenya@mail.ru)

Исследованиям влияния упругого деформирования одноосным растяжением и сжатием на процессы намагничивания и перемагничивания ферромагнитных материалов посвящено большое количество работ (см. обзоры в [1, 2]). Исследования поведения магнитных характеристик при двухосных и трехосных видах нагружений, как правило, ограничиваются частными случаями, характерными для практики. Например, нагружение стального сосуда внутренним давлением сформирует (в предположении о тонкостенности) двухосное напряженное состояние, которое может быть оценено магнитными методами [3]. Но при подобных испытаниях главные напряжения взаимосвязаны и определяются одной только величиной внутреннего давления, а их соотношение жестко связано с геометрией конструкции.

В работах [4-6] исследовали изменения магнитных характеристик различных конструкционных сталей при одновременном воздействии на полый цилиндрический образец одноосным растяжением/сжатием, кручением и внутренним давлением. Такая схема нагружения моделирует, в частности, возможные нагрузки при эксплуатации трубопроводов. Но, помимо практического аспекта, данный вид экспериментов может быть полезен для развития теоретических основ магнитных методов неразрушающего контроля трехосного напряженного состояния. В настоящем докладе показано, что комбинация растяжения/сжатия с кручением и внутренним давлением позволяет получить на рабочей части цилиндрического образца три ненулевых главных напряжения, причем их величины не будут взаимозависимы. При этом возможно варьировать направление первого (т.е. наибольшего) главного напряжения по отношению к продольной оси образца от 0 до 90°.

Схема эксперимента все же имеет ряд ограничений: невозможно создать трехстороннее растяжение или трехстороннее сжатие (т.е. знак одного из главных напряжений будет отличаться от двух других); диапазон изменений второго главного напряжения относительно мал по сравнению с диапазонами первого и третьего главных напряжений.

Фактически на характеристики материала влияют не напряжения, а связанные с ними деформации, которые для упругого случая легко рассчитать, используя обобщенный закон Гука. В работе показано, что при заданной интенсивности напряжений наибольшие

изменения магнитных характеристик наблюдаются при измерениях в направлении наибольшей упругой деформации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костин В.Н., Царькова Т.П., Ничипурук А.П., Лоскутов В.Е., Лопатин В.В., Костин К.В. Необратимые изменения намагниченности как индикаторы напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов // Дефектоскопия. 2009. № 11. С. 54-67.
2. Горкунов Э.С., Мушников А.Н. Магнитные методы оценки упругих напряжений в ферромагнитных сталях (обзор) // Контроль. Диагностика. 2020. Т. 23. № 12. С. 4-23.
3. Кулак С.М., Новиков В.Ф., Проботюк В.В., Ваценок С.М., Фурсов Е.С. Магнитный контроль напряженного состояния стенки газового сепаратора при его гидроиспытаниях // Дефектоскопия. 2019. № 3. С. 38-45.
4. Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Мушников А.Н., Смирнов С.В., Якушенко Е.И. Влияние механических напряжений на магнитные характеристики трубной стали // Прикладная механика и техническая физика. 2014. Т. 55. № 3. С. 181-191.
5. Горкунов Э.С., Якушенко Е.И., Задворкин С.М., Мушников А.Н. Влияние упругих деформаций на магнитные характеристики хромоникелевых сталей // Физика металлов и металловедение. 2015. Т. 116. № 2. С. 156.
6. Горкунов Э.С., Путилова Е.А., Задворкин С.М., Макаров А.В., Печеркина Н.Л., Калинин Г.Ю., Мушникова С.Ю., Фомина О.В. Особенности поведения магнитных характеристик перспективных азотсодержащих сталей при упругопластической деформации // Физика металлов и металловедение. 2015. Т. 116. №8. С. 884–896.