УДК 620.179.14

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЕЙ, ИМЕЮЩИХ РАЗМЕРНОСТЬ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Магнитные свойства многих сталей связаны с их структурным состоянием (коэрцитивная сила H_c, остаточная намагниченность M_r) и фазовым составом (намагниченность M_s технического насыщения). Это явилось физической основой магнитного структурно-фазового анализа [1, 2]. Относительная погрешность δ измерения H_c составляет ±2 %, δ измерения M_{rs} и M_s не превышает ±3 %, а δ отношения $K_П = M_{rs}/M_s$ не превышает ±1 % [3]. Установлены зависимости влияния селективного изменения разных структурных факторов сталей на их H_c [1, 2]. Но H_c оказалась непригодна для контроля температуры T_o отпуска закаленных изделий из сталей с содержанием углерода более 0,3 % из-за их слабой и неоднозначной зависимости от T_o в области 400 °С...600 °С. Но большинство изделий подвергается отпуску именно в этом интервале температур. Поэтому разработка достоверного метода неразрушающего контроля качества термической обработки изделий из таких материалов стала одной из главных задач магнитного структурного анализа.

Для решения этой проблемы, в числе прочих магнитных параметров сталей, исследователями предложено измерять и параметры, имеющие размерность магнитного поля: поле $H_{\mu m}$, соответствующее максимальной магнитной проницаемости материала, его релаксационную коэрцитивную силу H_r. Автором показано [4–8], что результаты измерения этих параметров не нашли применения в магнитном структурном анализе из-за низкой точности измерения и тесной связи с коэрцитивной силой материала, которая может быть измерена проще и точнее.

Современные исследователи предложили в качестве параметра, чувствительного к структуре сталей, использовать критическое поле $H_{кр}$, которое определяли путем построения касательных к измеренной кривой безгистерезисной кривой намагничивания материала от нулевого и от максимального полей, как абсциссу их пересечения [9, 10].

В докладе, на основании разработанного аналитического описания безгистерезисной кривой намагничивания материала [11], показано, что и

предложенный в [9, 10] к измерению магнитный параметр $H_{кр}$ может быть рассчитан по результатам простого и точного измерения H_c, M_r и M_s.

Тем самым подтвержден сделанный в [8] вывод, что структурная чувствительность параметров, синтезированных из H_c, M_r и M_s сталей выше структурной чувствительности магнитных проницаемостей и релаксационных магнитных параметров и результатов измерения магнитных параметров, имеющих размерность напряженности магнитного поля, а измерены они могут быть проще и точнее. Любой необходимый магнитный параметр материала изделий или любая их комбинация могут быть синтезированы из результатов измерения H_c, M_r и M_s.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – Москва: Наука, 1993. – 252 с.

2. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева // Магнитные методы контроля. – Москва: Машиностроение, 2006. – Т. 6, кн. 1. – 848 с.

3. Магнитные измерения / Е. Т. Чернышев [и др.]. – Москва: Изд-во стандартов, 1969. – 248 с.

4. **Сандомирский, С. Г.** Анализ погрешности измерения поля максимальной магнитной проницаемости / С. Г. Сандомирский // Измерительная техника. – 2011. – № 12. – С. 41–44.

5. **Сандомирский, С. Г.** Оценочный расчет магнитного поля, при котором магнитная проницаемость достигает максимума / С. Г. Сандомирский // Электричество. – 2012. – № 7. – С. 55–60.

6. **Сандомирский, С. Г.** Расчет релаксационной коэрцитивной силы ферромагнитного материала / С. Г. Сандомирский // Электричество. – 2010. – № 7. – С. 55–58.

7. **Сандомирский, С. Г.** Анализ диапазона изменения релаксационной коэрцитивной силы сталей / С. Г. Сандомирский // Сталь. – 2013. – № 2. – С. 47–51.

8. **Клюев, В. В.** Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В. В. Клюев, С. Г. Сандомирский. – Москва: Спектр, 2017. – 248 с.

9. **Сербин, Е. Д.** О возможности оценки магнитострикционных характеристик объемных ферромагнетиков по их магнитным свойствам / Е. Д. Сербин, В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 2019. – № 5. – С. 31–36.

10. **Сербин, Е. Д.** Определяемые формой петли гистерезиса критические поля, как перспективные параметры структуроскопии стальных изделий. Статистический анализ и использование взаимосвязей между физико-механическими свойствами сталей при их магнитном контроле / Е. Д. Сербин, В. Н. Костин // Умные технологии НК. Единство теории и практики: сб. тр. XXIII Всерос. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике, Москва, 23–25 окт. 2023 г. – Москва: Спектр, 2023. – С. 68–72.

11. **Сандомирский, С. Г.** Определение безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала по параметрам предельной петли его магнитного гистерезиса / С. Г. Сандомирский // Электротехника. – 2023. – № 10. – С. 55–60.