

В.Н. КОСТИН, А.П. НИЧИПУРУК, Т.П. ЦАРЬКОВА, А.Н. СТАШКОВ  
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»  
Екатеринбург, Россия

Пригодные для практического применения магнитные параметры структуроскопии в соответствии со способом их измерения делятся на магнитные свойства тела и магнитные свойства вещества [1]. Применение магнитных характеристик тела, таких, например, как остаточная магнитная индукция после частичного размагничивания, ограничивается узким диапазоном размеров и форм контролируемых изделий [2]. Измерение магнитных свойств вещества позволяет получить наиболее достоверную информацию о свойствах контролируемых объектов, а также позволяет избавиться от влияния формы и размеров контролируемых изделий на результаты контроля.

К настоящему времени путем сравнительного анализа структурной чувствительности установлено [1], что существует ограниченное число магнитных свойств вещества поликристаллических ферромагнетиков, которые имеют различающуюся структурную чувствительность и могут быть использованы для контроля как отдельно, так и совместно. Эта группа наиболее вероятных параметров контроля включает следующие свойства: намагниченность насыщения  $M_S$ ; коэрцитивное поле  $H_c$ ; остаточная намагниченность  $M_r$ ; остаточная намагниченность, полученная после

уменьшения до нуля коэрцитивного поля  $M_{Hc}$ ; величина  $\chi_{эф} = \frac{M_r}{H_c} \sim \chi_{max}$ ;

магнитная восприимчивость на кривой возврата от коэрцитивного поля  $\chi_{rc}$ ; обратимая  $\chi_{rc}^{обп} \sim \chi_a$  и необратимая  $\chi_{rc}^{необп} \sim bH_c$  составляющие восприимчивости  $\chi_{rc}$ . Измерение этих магнитных свойств позволяет получить достаточно полную информацию о структуре и механических свойствах контролируемых изделий и не требует сложной процедуры их размагничивания.

Одним из многочисленных примеров многопараметровой структуроскопии является оценка приложенных к стальным объектам упругих напряжений [3]. На рис. 1 представлены зависимости магнитных свойств стали 3 ( $\sigma_T = 300$  МПа) от приложенных растягивающих ( $+\sigma$ ) и сжимающих ( $-\sigma$ ) напряжений. Сжимающие упругие деформации вызывают монотонное уменьшение начальной восприимчивости  $\chi_a$  и рост коэрцитивной силы  $H_c$ . При этом резко уменьшаются связанные с процессами необратимого перемагничивания остаточная намагниченность  $M_r$ , коэффициент

Рэля  $b_0$  и характеризующее наклон нисходящей ветви предельной петли гистерезиса отношение  $M_r/H_c$ .

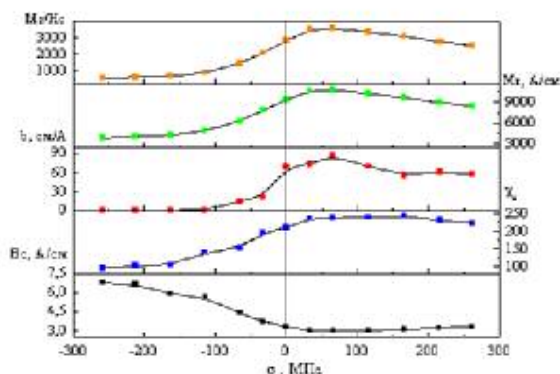


Рис. 1. Зависимость магнитных свойств стали 3 от приложенных упругих напряжений

Упругое растяжение приводит к слабому и немономонному изменению величин  $H_c$ ,  $\chi_a$  и  $b_0$ . При растягивающих напряжениях более 70 МПа уменьшается остаточная намагниченность  $M_r$  и наиболее интенсивно (почти в 1,5 раза) уменьшается величина  $M_r/H_c$ .

Анализ экспериментальных результатов показывает, что для оценки представляющих наибольшую опасность высоких растягивающих напряжений необходимо использовать двухпараметровый метод контроля. Величину напряжения целесообразно оценивать по величине магнитного поля, соответствующего фиксированной намагниченности на нисходящей ветви предельной петли гистерезиса  $H_{II}^{\sigma_i}$ . Отделить при этом растягивающие напряжения от сжимающих можно по величине  $H_c$  или  $\chi_a$ .

Для практической реализации одно- или многопараметровых методик структуроскопии изделий и объектов в производственных и полевых условиях в Институте физики металлов УрО РАН разработана линейка малогабаритных автономных структуроскопов ММТ и СИМТЕСТ (рис.2). Особенностью устройств является то, что плавное изменение магнитного состояния испытуемых изделий достигается без разрыва составной замкнутой цепи “намагничивающее устройство - изделие”. Измерение магнитного потока в изделиях производится с помощью специального отверстия-преобразователя в магнитопроводе намагничивающего устройства. Измерение внутреннего магнитного поля производится малогабаритным датчиком Холла, помещаемым на поверхность намагничиваемого участка изде-

лия. В приборах ММТ намагничивание контролируемых изделий производится с помощью неэлектрического намагничивающего устройства, что позволило резко уменьшить их энергопотребление и массогабаритные характеристики.

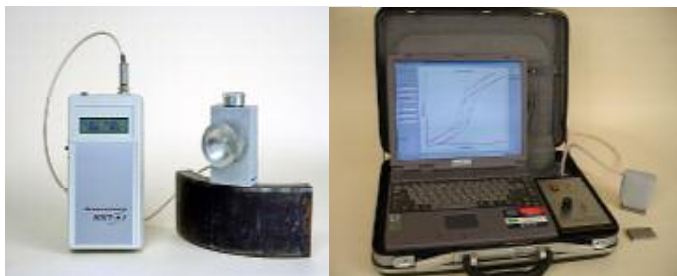


Рис. 2. Приборы ММТ-3 и СИМТЕСТ

Программно-аппаратная система СИМТЕСТ объединяет новые измерительные средства и оригинальное программное обеспечение для получения, обработки, запоминания и последующего анализа измеренных данных. Намагничивание изделий может осуществляться либо приставным электромагнитом, питающимся от программно управляемого источника тока, либо неэлектрическим намагничивающим устройством. В программное обеспечение системы входят база данных физико-механических свойств сталей различного химического состава после закалки и отпуска и программа, позволяющая рассчитывать по известному химическому составу зависимости от температуры отпуска наиболее вероятных параметров контроля.

Приборы ММТ и СИМТЕСТ могут использоваться как для контроля качества термической обработки, так и для оценки напряженно-деформированного состояния изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многопараметровые методы структуроскопии стальных изделий с использованием магнитных свойств вещества / В. Н. Костин [и др.]. – Дефектоскопия, 2004. – № 3. – С. 69–82.
2. **Горкунов, Э. С.** Исследование возможности неразрушающего контроля изделий из конструкционных сталей с малым размагничивающим фактором / А. А. Осинцев, А. Н. Шашков, Т. П. Царькова. – Дефектоскопия, 1985. – № 5. – С. 48–52.
3. Необратимые изменения намагниченности как индикаторы напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов / В. Н. Костин [и др.]. – Дефектоскопия, 2009 (в печати).
4. **Костин, В. Н.** Измерение относительных значений магнитных свойств вещества контролируемых изделий в составных замкнутых цепях / В. Н. Костин, Т. П. Царькова, Е. Ю. Сажина. – Дефектоскопия, 2001. – № 1. – С. 15–26.

E-mail: [stashkov@imp.uran.ru](mailto:stashkov@imp.uran.ru)