

УДК 620.179.14
АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ СТАЛЕЙ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, Е. Г. САНДОМИРСКАЯ
Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Физической основой магнитного структурного анализа сталей является связь их магнитных свойств со структурным состоянием (распределением дефектов в кристаллической решетке, величиной зерна, напряжениями и др.). Магнитным параметром, наиболее чувствительным к структуре сталей, являются их коэрцитивная сила H_{cs} , измеренная на предельной петле магнитного гистерезиса. В последнее время в качестве магнитного параметра, чувствительного к изменениям режима термической обработки сталей и механическим напряжениям, используют и коэрцитивную силу H_c частных петель магнитного гистерезиса. В многочисленных статьях (например, [1]) указано, что на зависимость H_c от технологических факторов влияет максимальная напряженность H_m магнитного поля (или максимальная магнитная индукция B_m) частной петли магнитного гистерезиса, и характер этой зависимости может отличаться от характера зависимости H_{cs} от тех же факторов. В попытках объяснения причин такого различия преобладают рассуждения о влиянии структурных факторов на H_c , не связанных с действительными физическими причинами этого явления. Возможность контроля режимов производства или напряжений в металле по результатам измерения H_c устанавливают трудоемкими исследованиями.

В [2] обосновано использование для расчета коэрцитивной силы H_c частных петель магнитного гистерезиса формулы [3], имеющей следующую компактную запись:

$$h_c = 1 - T^{-1} \operatorname{tg} \left\{ 0.5 \sum_{n=1}^2 \operatorname{arctg} [T(1 + (-1)^n h_m)] \right\}, \quad (1)$$

где: $h_c = H_c / H_{cs}$; $T = \operatorname{tg}(\pi K_{II} / 2)$; $K_{II} = M_{rs} / M_s$; $h_m = H_m / H_{cs}$, M_{rs} и M_s – остаточная намагниченности и намагниченность технического насыщения собственно.

Показано, что изменения характера зависимостей H_c сталей от режима технологического воздействия по мере изменения H_m (или B_m) частной петли магнитного гистерезиса полностью определяются изменениями ее H_{cs} , M_s и M_{rs} и соответствуют физике перемагничивания ферромагнитного материала в слабых магнитных полях. Какие именно структурные изменения металла вызвали изменения его H_{cs} , M_s и M_{rs} , не имеет значения.

Значения H_c сталей на любых частных петлях магнитного гистерезиса могут быть с достаточной для практики точностью рассчитаны по формуле (1) по H_{cs} , M_s и M_{rs} этих сталей и напряженности поля H_m . Например, на рис.

1 представлены результаты расчета по (1) зависимостей H_c стали 50 от температуры T_0 отпуска. Для построения зависимостей $H_c(T_0)$ при разных H_m использованы зависимости $H_{cs}(T_0)$, $M_{rs}(T_0)$ и $M_s(T_0)$ стали 50, представленные в [1, рис. 4, а, 4, б и 5, а]. Изменение рассчитанных зависимостей $H_c(T_0)$ при уменьшении H_m соответствует изменению измеренных [1, рис. 4, а] зависимостей $H_c(T_0)$ по мере уменьшения B_m частных петель гистерезиса стали 50.

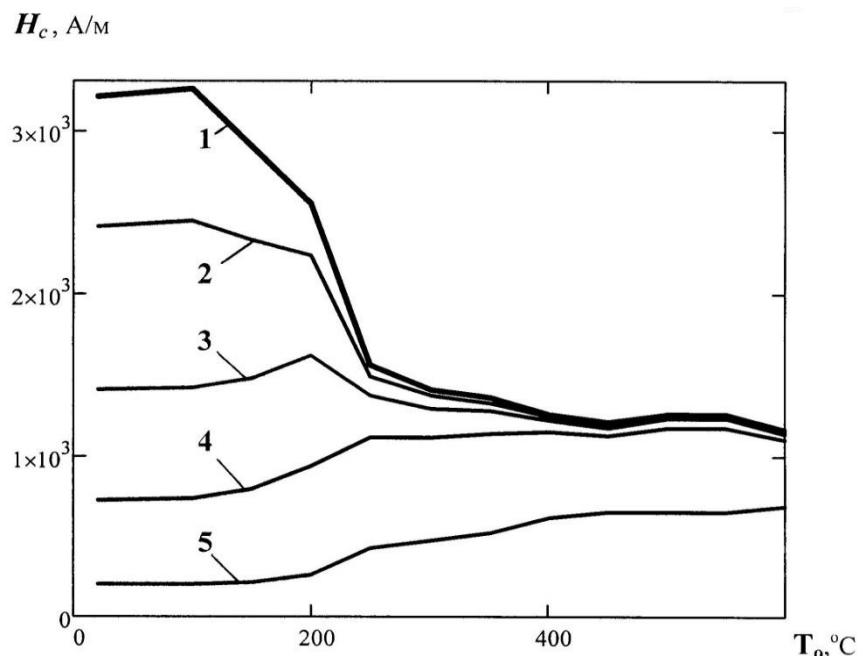


Рис. 1. Зависимости H_c стали 50 от температуры T_0 отпуска при $H_m = 60$ кА/м (1); 5 кА/м (2); 3 кА/м (3); 2 кА/м (4) и 1 кА/м (5). Расчет по формуле (1).

Проведенный в [2] анализ чувствительности H_c к H_{cs} , M_s и M_{rs} позволил определить условия эффективного использования измерений H_c сталей для контроля их структурного состояния и фазового состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магнитный и вихретоковый контроль закаленной конструкционной стали, подвергнутой комбинированным деформационно-термическим обработкам / А. В. Макаров [и др.] // Дефектоскопия – 2012. – № 12. – С. 3–17.
2. Сандомирский, С. Г. Анализ структурной и фазовой чувствительности коэрцитивной силы частных петель гистерезиса сталей / С. Г. Сандомирский // Металлы. – 2014. – № 2. – С. 37–43.
3. Мельгуй, М. А. Формулы для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков / М. А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 1987. – № 11. – С. 3–10.