

**К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ КОНТРОЛЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТВЕРДОСТИ В ДЕТАЛЯХ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

А. В. АНФИЛОФЬЕВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

По распределению твердости можно оценивать технологичность операций и прогнозировать эксплуатационные возможности деталей [1].

Многочисленные исследования отмечают хорошую корреляцию твердости с рядом электромагнитных параметров. Для большого числа однотипных деталей, когда применение твердомеров нецелесообразно или невозможно, широко используются электромагнитные методы контроля твердости. Однако при измерениях распределения твердости электромагнитными методами необходимо обеспечить локальность контроля, соизмеримую с локальностью твердомеров, и возможность производить измерения достаточно близко к контуру изделия.

В связи с этим возникает ряд методических вопросов, связанных с выбором измерительной базы датчика, его конструкции и коррелирующей с твердостью электромагнитной характеристики.

На поверхности деталей твердость можно контролировать методом точечного полюса по остаточной намагниченности [2], коэрцитивметрами ИФМ АН СССР по току размагничивания [3], по спектральному анализу гармонического сигнала датчика. Указанные методы реализуются в основном датчиком одно- и двухполюсного исполнения.

Датчик должен обеспечивать локальность измерений и фиксировать возникшую в процессе технологических операций макронеоднородность металла и ее градиент.

С другой стороны, размеры контактного пятна должны быть таковы, чтобы исходный отожженный материал можно было считать изотропным (или однородным).

Установим ориентировочные минимальные размеры контактного пятна. У конструкционных сталей размеры зерен в среднем одинаковы и варьируются в пределах 0,01—0,1 мм. Зерно, рассматриваемое в первом приближении как монокристалл, имеет максимально возможную анизотропию. В металле ориентация зерен случайна, если не применены специальные виды обработки. Естественно предположить, что площадка, на которой имеются зерна всех ориентаций, будет минимальным элементом, начиная с которого материал можно считать однородным. При дальнейшем увеличении площадки будут встречаться зерна с уже имеющейся ориентацией. Для ферромагнитных материалов, имеющих кубическую решетку, при допуске на разориентацию двух зерен в 1% ( $3,6^\circ$ ) элементарная площадка включает 5000 зерен [4], что соответствует 0,5—50 мм<sup>2</sup>. Поскольку электромагнитное поле проникает

на некоторую глубину и в измерении участвуют подповерхностные зерна, размеры могут быть уменьшены.

Приставным электромагнитом исследовано влияние края образца (рис. 1). Расстояние между полюсами электромагнита можно изменять в пределах 0—20 мм и, таким образом, моделировать одно- и двухполюсный датчик. Электромагнит изготовлен из пластин электротехнического железа, сечение полюсов  $3 \times 5$  мм, намагничивающая обмотка  $\omega_1 = 2 \times 250$  витков. Максимальная индукция между полюсами 12500 гс.

На образец ( $3 \times 5 \times 150$  мм) из отожженного армко-железа с неоднородностью  $1 \div 2 HV$  устанавливалась измерительная катушка  $\omega_2 = 350$  витков. Замыкал электромагнит ферродатчик ( $\omega_1 = 2 \times 200$ ,  $\omega_2 = 800$ ). Баллистическим гальванометром измерялась остаточная индукция после намагничивания при установленном электромагните и после удаления его. При контроле одним полюсом остаточная индукция вычислялась как среднее арифметическое двух измерений сдвиганием катушки с образца, расположенной по одну и другую сторону полюса.

При установленном электромагните влияние края не было замечено. Из-за малой остаточной индукции образца разность отбросов гальванометра при намагничивании и уменьшении тока до нуля составляла 2 мм по шкале. Остаточная индукция в образце и электромагните соизмеримы, ферродатчик не фиксировал изменение поля. Как следует из [3], с уменьшением расстояния между полюсами увеличивается поток рассеивания и влияние остаточной индукции электромагнита, что приводит к снижению чувствительности. Очевидно, конструкция датчика с подобным расположением феррозонда при измерениях на небольших площадках неэффективна.

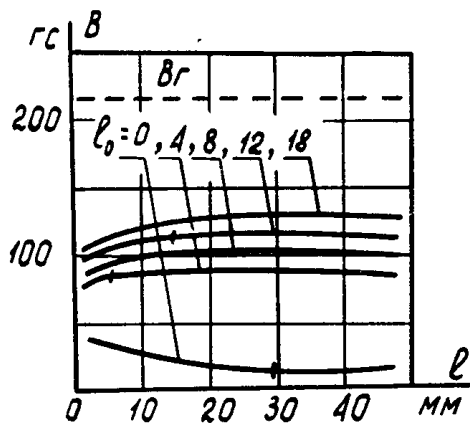


Рис. 2. Влияние края изделия на остаточную индукцию

исследована возможность контроля твердости при увеличении поля от нуля до величины, при которой третья гармоника резко возрастает, что соответствует точке перегиба на кривой намагничивания металла. При этом датчик не успевает нагреваться.

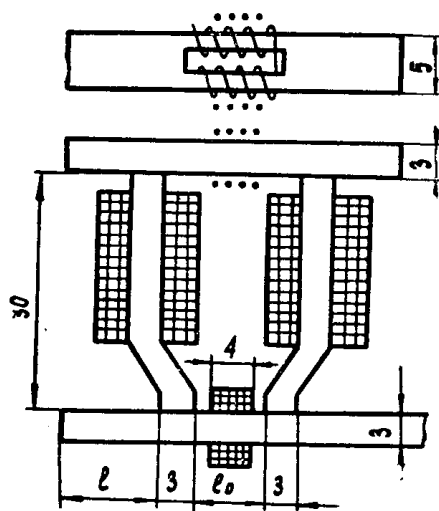


Рис. 1. Конструкция приставного электромагнита

При убранном электромагните влияние края пропорционально расстоянию между полюсами и значительно меньше, чем для одного полюса. Размагничивающий фактор при двухполюсном намагничивании также меньше (рис. 2). В переменном поле и в стационарном режиме трудно малогабаритным датчиком обеспечить необходимые поля намагничивания. Была

исследована возможность контроля твердости при увеличении поля от нуля до величины, при которой третья гармоника резко возрастает, что соответствует точке перегиба на кривой намагничивания металла. При этом датчик не успевает нагреваться.

На рис. 3 приведены результаты измерений для ряда сталей при работе датчика в указанном режиме.

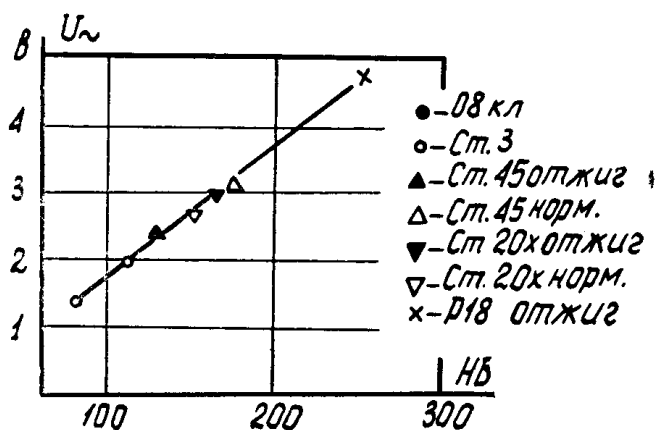


Рис. 3. Зависимость напряжения возбуждения датчика, при котором резко возрастает третья гармоника, от твердости металла

### Выводы

1. При исследовании распределения твердости в деталях целесообразно применять двухполюсные датчики с измерительной площадью не менее  $0,5 \text{ см}^2$ .
2. В постоянном поле контроль необходимо производить по остаточной намагниченности металла при убранном электромагните.
3. В переменном поле возможен контроль твердости по величине поля возбуждения датчика, при котором резко возрастает третья гармоника.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Дель. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М., «Машиностроение», 1971.
2. Г. С. Томилов. Магнитный контроль структуры и твердости стальных деталей по измерениям локального поля остаточной намагниченности. «Дефектоскопия», 1966, № 4.
3. В. А. Захаров, М. Н. Михеев, В. П. Табачник, В. М. Францевич, Л. А. Фридман. Влияние непостоянства зазора между изделием и наконечниками электромагнита на величину размагничивающего тока феррозондового коэрцитиметра с приставным электромагнитом. «Дефектоскопия», 1970, № 4.
4. А. А. Ильюшин, В. С. Ленский. Сопротивление материалов. М., Физматгиз, 1959.