

## К ВОПРОСУ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В СТАЛИ СОЛЕНОИДНОГО МОЛОТКА

*Н. П. Ряшенцев, А. В. Фролов*

Когда магнитный поток, пронизывающий сплошные проводящие массы, претерпевает в них изменения, появляются вихревые токи. При этом безразлично, является ли изменение потока следствием перемещения проводящих масс в магнитном поле или оно происходит вследствие того, что поток изменяется во времени, т. е. вихревые токи представляют собой частный случай явления взаимной индукции.

В соответствии с правилом Ленца вихревые токи стремятся воспрепятствовать тем изменениям, которые их вызывают. Поэтому собственное магнитное поле вихревых токов всегда стремится ослабить изменение основного магнитного потока. Наличие вихревых токов сопровождается выделением тепла, а так как тепло это не используется, то соответствующую ему мощность называют потерями на вихревые токи.

Кроме потерь на вихревые токи в магнитопроводе есть потери на гистерезис. Без перемагничивания магнитопровода и при питании катушек соленоидного молотка по схеме, приведенной в работе [1, 2], потери на гистерезис составляют 3—5% от потерь при перемагничивании магнитопровода.

В существующих конструкциях соленоидных молотков значительную часть всех потерь составляют потери в стали.

В результате магнитопроводы молотков при непродолжительной работе нагреваются до 30—40° С, а движущаяся часть боек — до 100—120° С. Уменьшить нагрев молотка можно двумя способами:

- 1) путем интенсивного охлаждения молотка;
- 2) за счет уменьшения потерь в стали магнитопровода.

Первый способ ведет к усложнению и утяжелению конструкций. Вторым более желателен, так как означает увеличение к. п. д. соленоидных молотков.

Для уменьшения потерь на вихревые токи, а также для уменьшения наведения противозлектродвижущей силы следует стремиться к возможно большему ослаблению вихревых токов. Последнее может быть достигнуто устройством магнитопровода из тонких листов электротехнической стали, электрически изолированных друг от друга. Этот простой и надежный способ уменьшения потерь на вихревые токи неприемлем для соленоидных молотков вследствие большой трудоемкости изготовления магнитопровода и невозможности изготовления бойка из листовой электротехнической стали.

Но есть другой, не менее эффективный способ уменьшения потерь на вихревые токи — уменьшение удельной электрической проводимости материала магнитопровода или применение ферромагнитных материалов с меньшей удельной электрической проводимостью.

Нагрев соленоидных молотков, обусловленный большими потерями в стали магнитопровода, имеет решающее значение при проектировании ручного инструмента. Нами установлено, что в молотке наиболее сильному нагреву подвергается боек.

Данная работа по выбору ферромагнитного материала и уменьшению потерь в стали соленоидных молотков была проведена на кафедре горных машин и рудничного транспорта ТПИ. Определение потерь в стали производилось калориметрическим способом.

Испытаниям подвергались бойки диаметром  $d = 34$  мм, длиной  $l = 100$  мм, изготовленные из различных материалов.

Для уменьшения величины ошибки опыта принималось во внимание следующее:

1. Во избежание дополнительного нагрева бойка за счет теплоты, выделяемой при ударе бойка о торец пики и при трении бойка о направляющую трубу, положение бойка во время опытов строго фиксировалось.

2. Температура бойка и направляющей трубы соленоидного молотка до опыта были одинаковы.

3. Потребляемая мощность молотка определялась ваттметром Weston Normal Wattmeter с относительной ошибкой  $\pm 0,2\%$ .

Питание катушек производилось по двухполупериодной схеме [2].

Потери в стали бойка определялись из уравнения теплового баланса по формуле

$$P_{с. б} = \frac{4,186}{t} (t_{к}^0 - t_0^0) (m_{в} + C_{к} m_{к}) \text{ вт},$$

где  $P_{с. б}$  — потери в стали бойка, кг;

$t_0$  — время работы молотка, мин.;

$t_{к}$  — максимальная температура воды в калориметре после опыта, °С;

$t_0^0$  — начальная температура воды в калориметре, °С;

- $m_v$  — масса воды в калориметре, г;  
 $C_k$  — теплоемкость калориметра, кал/г · град;  
 $m_k$  — масса внутреннего сосуда калориметра с мешалкой, г.

Наряду с выбором ферромагнитного материала принималось во внимание влияние его термообработки и схема питания катушек молотка.

Результаты испытаний показаны на рис. 1 и 2.

На приведенных кривых (рис. 1 и 2) коэффициент потерь  $K$  определяет отношение потерь в стали бойка к потребляемой мощности соленоидного молотка, т. е. характеризует относительную величину потерь. Опыты производились на соленоидном молотке МС-5.

#### Техническая характеристика МС-5

|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| Энергия единичного удара, кгм . . . . .        | $A=1,3$     |
| Число ударов в минуту . . . . .                | $n=1500$    |
| Потребляемая мощность, квт . . . . .           | $P=1,2$     |
| Число катушек, шт. . . . .                     | $m=2$       |
| Число витков в одной катушке, витков . . . . . | $W=1050$    |
| Вес молотка, кг . . . . .                      | $G=11,5$    |
| К. п. д., % . . . . .                          | $\eta=26,7$ |

На рис. 1 представлены результаты испытаний ферромагнитных материалов, не прошедших термообработку, на рис. 2—термообработанных.

При испытании бойков, изготовленных из ферромагнитных материалов без последующей обработки, оказалось, что при увеличении потребляемой мощности соленоидного молотка от 1,8 до 2,8 квт потери в стали бойка изменяются незначительно (рис. 1). Из этого же рисунка видно, что наименьшими потерями обладают бойки, изготовленные из порошкового железа типа Армко, спрессованного под давлением. Из испытанных конструкционных сталей наименьшие потери у стали 45. Но даже у нее потери по сравнению с порошковым железом Армко больше в два раза (при потребляемой мощности молотка 0,6—2,8 квт). Это объясняется следующим:

1) плотность порошкового железа Армко меньше плотности стали 45 в 1,57 раза;

2) воздушные промежутки, получающиеся во время прессовки порошка железо Армко, в значительной мере уменьшают вихревые токи.

Таким образом, магнитопровод соленоидных молотков следует изготавливать из порошкового железа Армко, тем более, что оно хорошо поддается механической обработке. Для бойка более подходящей будет сталь 45.

В процессе обработки деталей магнитопровода в последних возникают местные изменения структуры, приводящие к ухудшению магнитных свойств материала: уменьшается магнитная про-

нищаемость, увеличивается коэрцитивная сила и повышаются потери на вихревые токи и гистерезис. Поэтому после механической обработки детали магнитопровода необходимо отжигать. При отжиге бойка из порошкового железа Армко при температуре 900—950° С потери в нем уменьшаются в полтора раза (рис. 1, 2).

Значение коэрцитивной силы после отжига железа Армко снижается с 1,3 до 1,08 ав/см.

Закалка стали 5ХВС до твердости  $H_{Rc} = 45$  уменьшает потери в стали бойка на 50—65% (в зависимости от потребляемой

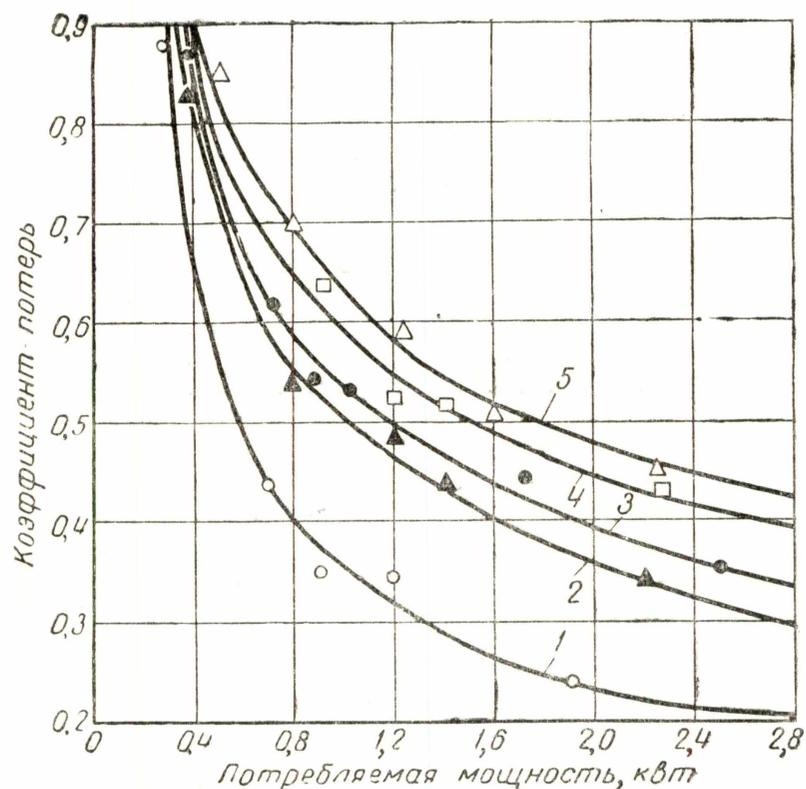


Рис. 1. Зависимость потерь в стали от потребляемой мощности молотка для незакаленных бойков:

1 — прессованное железо типа Армко; 2 — сталь 45; 3 — сталь 5ХВС; 4 — сталь У10; 5 — сталь 3.

мощности), а закалка стали 45 до  $H_{Rc} = 60$  уменьшает потери в стали бойка только на 10% (рис. 1, 2) по сравнению с этой же сталью, но без термообработки.

Таким образом, из рис. 2 видно, что наиболее целесообразно для изготовления бойка применять сталь 5ХВС с последующей закалкой до твердости  $H_{Rc} = 45$ , которая вполне сможет обеспечить установленный режим работы бойка и в то же время уменьшить потери в нем.

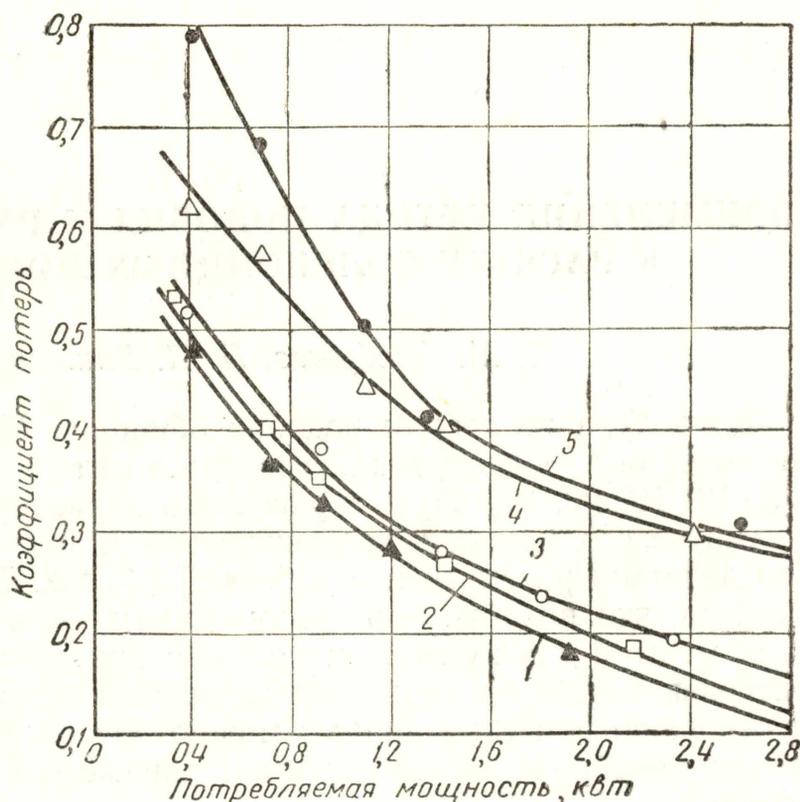
Анализ кривых 1 и 3 (рис. 2) показывает, что схема питания катушек соленоидного молотка также оказывает влияние на величину потерь в стали бойка. При питании катушек соленоидного молотка по однополупериодной схеме потери в стали бойка

увеличиваются на 20—25% по сравнению с двухполупериодной схемой питания катушек [1, 2]. Это объясняется тем, что потери на вихревые токи пропорциональны квадрату коэффициента формы кривой напряжения.

Проведенные исследования по выбору материалов и уменьшению потерь в стали магнитопровода позволяют сделать следующие выводы:

Рис. 2. Зависимость потерь в стали от потребляемой мощности молотка для закаленных бойков:

1 — прессованное железо Армко с последующим отжигом; 2 — сталь 5ХВС ( $H_{Rc} = 45$ ); 3 — прессованное железо Армко при питании молотка по однополупериодной схеме; 4 — сталь У10 ( $H_{Rc} = 58$ ); 5 — сталь 45 ( $H_{Rc} = 60$ ).



1) после механической обработки детали магнитопровода соленоидного молотка следует подвергать термической обработке — отжигу, а боек — закалке по всей его длине;

2) в качестве материала для магнитопровода следует применять порошковое железо Армко;

3) боек целесообразно изготавливать из стали 5ХВС;

4) для питания катушек соленоидного молотка желательно применять схему с двухполупериодным выпрямлением тока [2].

Проведенные исследования показывают, что к. п. д. соленоидных молотков можно повысить за счет уменьшения потерь в стали магнитопровода и тем самым значительно понизить нагрев молотков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Алабужев, Н. П. Ряшенцев. К вопросу создания соленоидных молотков. Известия ТПИ, т. 106. Metallurgizdat, 1958.
2. Н. П. Ряшенцев. Синхронный безыскровой переключатель. Известия ТПИ, том. 106. Metallurgizdat, 1958.
3. Ф. А. Ступель. Электромеханические реле. Госэнергоиздат, 1950.

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Стр.             | Строка       | Напечатано                                     | Должно быть                                        | По вине |
|------------------|--------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
| 96               | Рис. 2       | $n = 0,6 \sqrt{\frac{Q \cdot p}{m \cdot S}} +$ | $n = 0,6 \sqrt{\frac{Q \cdot p}{m \cdot S}} \cdot$ | авт.    |
| 153              | 21 сверху    | $l_k - 70 \text{ мм,}$                         | $l_k = 700 \text{ мм,}$                            | тип.    |
| 160              | 12 сверху    | изнесом                                        | износом                                            | »       |
| 182              | Рис. 2, а    | цифры 2 и 3                                    | поменять местами                                   | авт.    |
| 189              | 8 сверху     | фиксацией                                      | фиксируемых                                        | »       |
| 198 <sub>и</sub> | Формулы      | $q$                                            | $q_{II}$                                           | »       |
| 199              | (14) и (16а) |                                                |                                                    |         |
| 200              | 14 сверху    | коэффициент амплитуды кривой                   | коэффициент формы                                  | »       |
| 205              | 12 сверху    | $\sigma$ и $\sigma$                            | $\sigma_b$ и $\sigma_r$                            | »       |
| 208              | 2 сверху     | $d_{n1} =$                                     | $D_{n1} =$                                         | »       |
|                  |              | $\frac{4,186}{t}$                              | $\frac{4,186}{t_0}$                                | »       |
| 212              | 6 снизу      |                                                |                                                    |         |
| 276              | 15 снизу     | второй ступени                                 | шестерен второй ступени при                        | »       |
| 287              | 14 снизу     | $v_1, v_2$ и $v_3$                             | $V_1, V_2$ и $V_3$                                 | »       |
|                  |              | $\frac{2t_0 + t'_{III} + t''_{III}}{L}$        | $\frac{2t_0 + t'_{III}}{L}$                        |         |
| 287              | Формула (12) |                                                |                                                    | тип.    |
|                  |              | $\frac{2t_0 + t''_{III}}{L}$                   | $\frac{2t_0 + t'_{III} + t''_{III}}{L}$            |         |
| 287              | Формула (13) |                                                |                                                    | авт.    |
|                  |              |                                                |                                                    |         |
| 292              | 2 сверху     | (кривая I,                                     | (кривая I',                                        | »       |