

Н.А. Долбин, А.Г. Довгялло (канд.техн.наук),  
М.А. Мельгуй (канд.техн.наук), В.Л. Цейтлин

### ИЗМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ ТРУБОК ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

Увеличение парка лесозаготовительного оборудования, снабженного гидроприводом, одним из элементов которого являются трубопроводы, работающие в условиях сложного напряженного состояния, требует правильной оценки поведения последних в реальных условиях эксплуатации и неразрушающих методов контроля за ними.

Одним из таких методов является метод магнитного контроля, который чувствителен к дефектам кристаллической решетки, возникающим при пластическом деформировании и упругих колебаниях металлов. Однако данный метод контроля используется в основном при простых схемах нагружения ферромагнетиков. Поэтому изучение магнитных свойств ферромагнитных материалов в процессе совместного действия статической и динамической нагрузок позволяет выделить в чистом виде влияние различных схем нагружения на эти свойства.

Исследование изменений динамических магнитных характеристик (максимальная  $B_m$  и остаточная  $B_r$  индукции, коэрцитивная сила  $H_c$ ) производилось многопараметровым измерителем ИМХ-1.

Для получения указанных сигналов использовался проходной датчик (база 10 мм), в который помещался образец. Исследования производились на отожженных полуволновых трубчатых образцах из Ст. 20 (наружный диаметр  $D = 17,6$  мм, внутренний диаметр  $d = 15$  мм) и 40Х ( $D = 16,5$  мм,  $d = 15$  мм). Нагружение трубок производилось на специальной установке, включающей генератор УЗГ-10-22, преобразователь ПМС-15А-18, концентратор с усилением амплитуды колебаний в 2,6 раза.

Внутреннее гидростатическое давление в трубках создавалось при помощи стэнда. Масло АМГ-10 подавалось во внутреннюю полость образца через систему трубопроводов и штуцер, свернутый в концентратор в узле колебаний.

Измерение динамических магнитных характеристик производили в зависимости от эквивалентных напряжений в материале

образца, вызываемых одновременным действием внутреннего давления и высокочастотных вибраций. Значения  $B_m$ ,  $B_r$ ,  $H_c$  измеряли до и при наложении колебаний, не снимая давления при напряженностях намагничивающего поля  $H_m = 245$  и  $329$  Э.

При различных ступенях нагружения одновременно с изменением магнитных характеристик фиксировались частота (частотометром ЧЗ-33) и амплитуда колебаний образца (индикатором часового типа с ценой деления  $0,001$  мм).

Напряжения от внутреннего давления определяются следующими выражениями [1]

$$\sigma_{ос} = \frac{Pd}{4t}; \quad \sigma_{окр} = \frac{Pd}{2t},$$

где  $P$  — внутреннее давление;  $t$  — толщина стенки трубки;  $d$  — внутренний диаметр.

На осевое статическое напряжение накладывается динамическое напряжение  $\sigma_a$ , которое определяется по формуле [2].

Интенсивность напряженного состояния определяли по энергетической теории прочности.

При действии внутреннего давления имеем:

$$\frac{\sigma_{окр}}{\sigma_{ос}} = 2; \quad \sigma_1 = \sigma_{окр}; \quad \sigma_2 = \sigma_{ос}; \quad \sigma_3 = 0.$$

При нагружении переменными напряжениями растяжения—сжатия и внутренним давлением, если  $\sigma_a$  малы по сравнению со статическими напряжениями, то  $\sigma_{ос} + \sigma_a < \sigma_{кр}$ , а  $\sigma_{ос} - \sigma_a > \sigma_a > 0$ , тогда  $\sigma_1 = \sigma_{окр}$ ;  $\sigma_2 = \sigma_{ос} + \sigma_a$ ;  $\sigma_3 = 0$ .

Однако, когда имеет место, что  $\sigma_{ос} + \sigma_a > \sigma_{окр}$  и  $\sigma_{ос} = -\sigma_a < 0$ , тогда  $\sigma_1 = \sigma_{ос} + \sigma_a$ ;  $\sigma_2 = \sigma_{окр}$ ;  $\sigma_3 = 0$ .

На рис. 1, 2, 3 показаны изменения динамических остаточной индукции  $B_r$  и коэрцитивной силы  $H_c$  Ст 20 и 40х в зависимости от максимальных эквивалентных напряжений и величины поля  $H_m$ .

Анализ результатов показывает, что наложение высокочастотных вибраций на ферромагнетики вызывает значительные изменения динамических магнитных характеристик, т.е. акусти-

ческое нагружение оказывает существенное влияние на до-  
менную структуру ферромагнетиков, уменьшая потери на пе-  
ремагничивание и гистерезисные явления в процессе намагни-  
чивания.

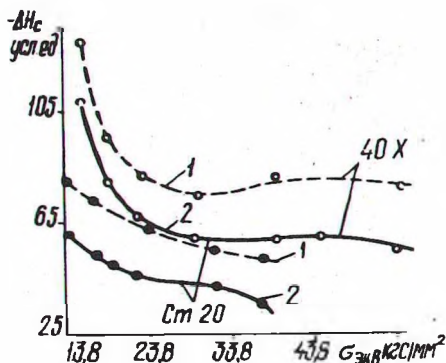


Рис. 1. Изменение коэрцитивной силы ( $H_c$ ) в зависимости от эквивалентных напряжений: 1 —  $H_m = 329$  Э; 2 —  $H_m = 245$  Э.

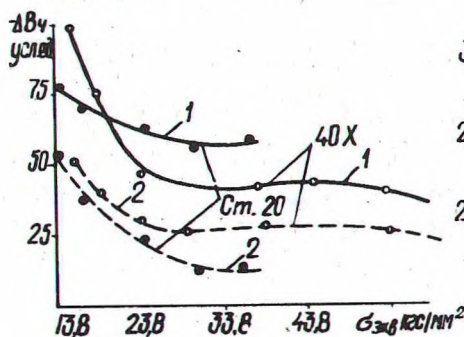


Рис. 2. Изменение остаточной индукции ( $B_r$ ) в зависимости от эквивалентных напряжений: 1 —  $H_m = 329$  Э; 2 —  $H_m = 245$  Э.

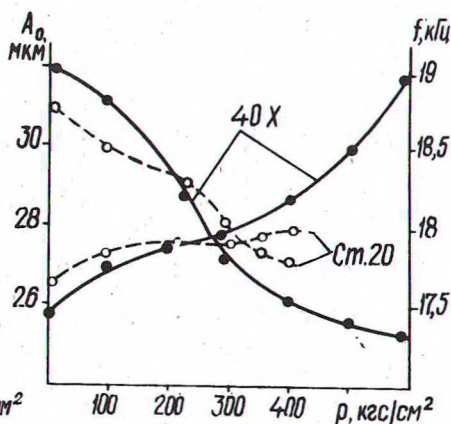


Рис. 3. Изменение амплитуды  $A_0$  и частоты  $f$  колебаний от величины внутреннего гидростатического давления.

При одновременном действии внутреннего давления и вибраций магнитные характеристики изменяются менее значительно. Это изменение тем меньше, чем больше величина внутреннего давления, т.е. чем больше эквивалентные напряжения. Следовательно, увеличение  $P$  ведет к увеличению потерь на перемагничивание.

Следует отметить, что увеличение внутреннего давления ведет к некоторому уменьшению амплитуды колебаний и увеличению их частоты (рис. 3). Однако эти противоположные измене-

ния амплитуды и частоты колебаний ведут к тому, что циклические напряжения изменяются незначительно (не более 12% для 40X и 11% для Ст 20).

Следует заметить также, что величина  $V_T$  и  $H_C$  изменяются более значительно, чем изменяется значение  $\sigma_a$ . Так, например, для 40X при уменьшении  $\sigma_a$  только на 1,8% коэрцитивная сила изменилась на 25%. Следовательно, на процессы перемангничивания влияют не только циклические, но и статические напряжения.

### Резюме

Показана возможность определения напряжений, возникающих в материале трубопроводов от внутреннего давления и высокочастотных вибраций, магнитным способом.

### Л и т е р а т у р а

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.—Л., 1951 .
2. Северденко В.П., Клубович В.В. Применение ультразвука в промышленности. Минск, 1967.