

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИГНАЛА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ КАТУШКИ ПРИ КОНТРОЛЕ ТВЕРДОСТИ ДЛИННЫХ СТЕРЖНЕЙ И ТРУБ

В. Д. САРТАКОВ

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

Результаты термообработки манометрических пружин в некоторой степени определяются исходной структурой материала, что вызывает необходимость ее контроля.

Для надежной работы металлорежущего оборудования при изготовлении манометрических пружин необходимо, чтобы твердость заготовок находилась в пределах технических условий. Повышенная твердость материала приводит к простоям оборудования из-за затупления и поломки режущего инструмента.

На ряде прокатных заводов СССР внедрены электромагнитные приборы для неразрушающего контроля микроструктуры и твердости ферромагнитных стержней и труб различного профиля по магнитной проницаемости. В некоторых случаях отсутствие хорошей корреляционной связи физических и механических параметров изделий, объективности оценки состояния материала по одному из электромагнитных параметров требует разработки новых методов и приборов для контроля качества длинных прутков или труб.

Для повышения объективности контроля могут быть применены многочастотный метод формирования многомерного сигнала по ряду параметров изделия и метод гармонического анализа сигнала измерительной катушки с последующей обработкой сигнала с помощью решающих устройств [1, 2].

Намагничивание длинных стержней с помощью короткой катушки представляет большие возможности для применения метода гармонического анализа вследствие неоднородного внешнего поля и нелинейных свойств ферромагнитного материала.

Экспериментальные и теоретические исследования, проведенные Р. И. Янусом и сотрудниками института физики металлов АН СССР, позволили определить распределение напряженности и индукции магнитного поля по длине стержня и создать для контроля твердости и микроструктуры длинных стержней в потоке установку, обладающую более высокой «разрешающей» способностью к физико-механическим параметрам изделий [3, 4, 5]. Ими было показано, что на некотором расстоянии от намагничивающей катушки собственное поле намагничиваемого образца из «размагничивающего» становится «намагничивающим», что приводит к выравниванию магнитного потока по длине образца. Это особенно проявляется у прутков с большей магнитной проницаемостью. Если измерительную катушку поместить на некотором расстоянии от на-

магничивающей и соосно с ней, то чувствительность неразрушающего контроля микроструктуры и твердости прутков по магнитной проницаемости может превзойти максимальную чувствительность в случае замкнутой магнитной цепи.

Зависимость величины собственного поля образца от величины магнитной проницаемости μ и нелинейная зависимость μ от напряженности магнитного поля позволяют получить многомерную информацию о состоянии материала путем гармонического анализа э. д. с. измерительной катушки, вынесенной из центра намагничивания.

С целью более детального исследования вопросов намагничивания длинных стержней короткой катушкой и разработки производительных и более точных приборов неразрушающего контроля нами были проведены экспериментальные исследования распределения э. д. с. (или индукции) высших гармоник по длине стержня, а также сдвига по фазе между напряженностью внешнего магнитного поля в центре намагничивающей обмотки и индукцией высших гармоник при заданном значении синусоидального тока намагничивающей катушки.

Схема установки для проведения экспериментов представлена на рис. 1.

Намагничивающая катушка ($W_1 = 966$ витков, длина катушки $l_1 = 30$ мм, средний диаметр $d_{cp1} = 45$ мм), питаемая от сети промышленной частоты в режиме заданного тока ($I_H = 0,4$ а), создает внешнее неоднородное по длине образца переменное магнитное поле. Измерительная катушка ($W_2 = 5000$ витков, $l_2 = 30$ мм, $d_{cp2} = 30$ мм) поме-

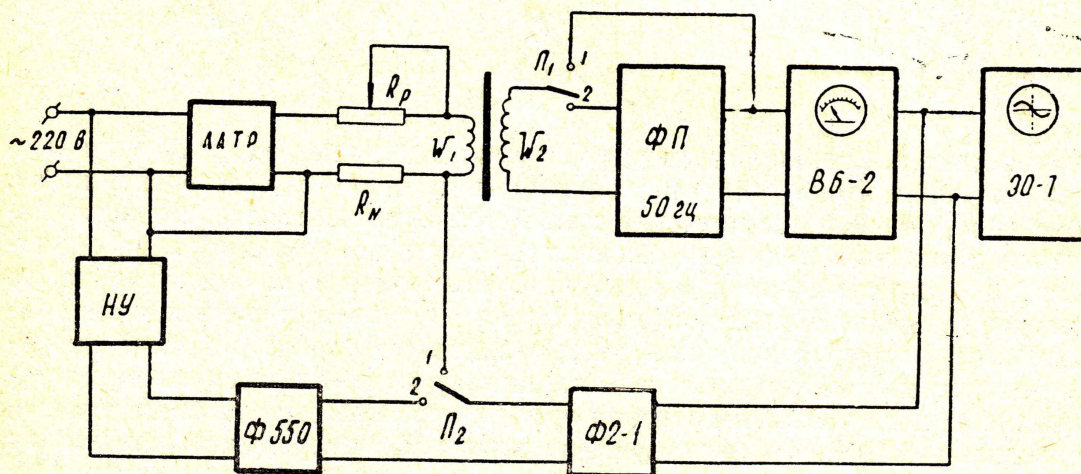


Рис. 1.

щается на различных расстояниях от центра намагничивающей катушки и э. д. с., наводимая в ней, измеряется селективным вольтметром В6—2. Выходной сигнал селективного вольтметра поступает на вход электронного осциллографа ЭО-7, синхронизированного напряжением с частотой 50 гц. Режим синхронизации от сети дает возможность произвести грубую оценку фазовых сдвигов гармоник э. д. с. относительно напряженности внешнего поля. Для точной оценки фазовых сдвигов высших гармоник применен электронный фазометр Ф2—1. Для получения опорного сигнала к фазометру разработано устройство, содержащее нелинейный узел НУ и избирательный усилитель индикатора нуля Ф550, настраиваемый на частоту соответствующей гармоники.

Эксперименты проведены на образцах с различной твердостью из стали 50ХФА длиной 600 мм и диаметром 16 мм.

На графиках (рис. 2 а, б, в) приведены кривые распределения первой, третьей и пятой гармоник э. д. с. по длине образца (твердость образца $HV = 214$ ед).

Распределение по длине образца индукций высших гармоник определяется величиной намагничивающего тока, геометрическими размерами катушки намагничивания и магнитными свойствами образца. При

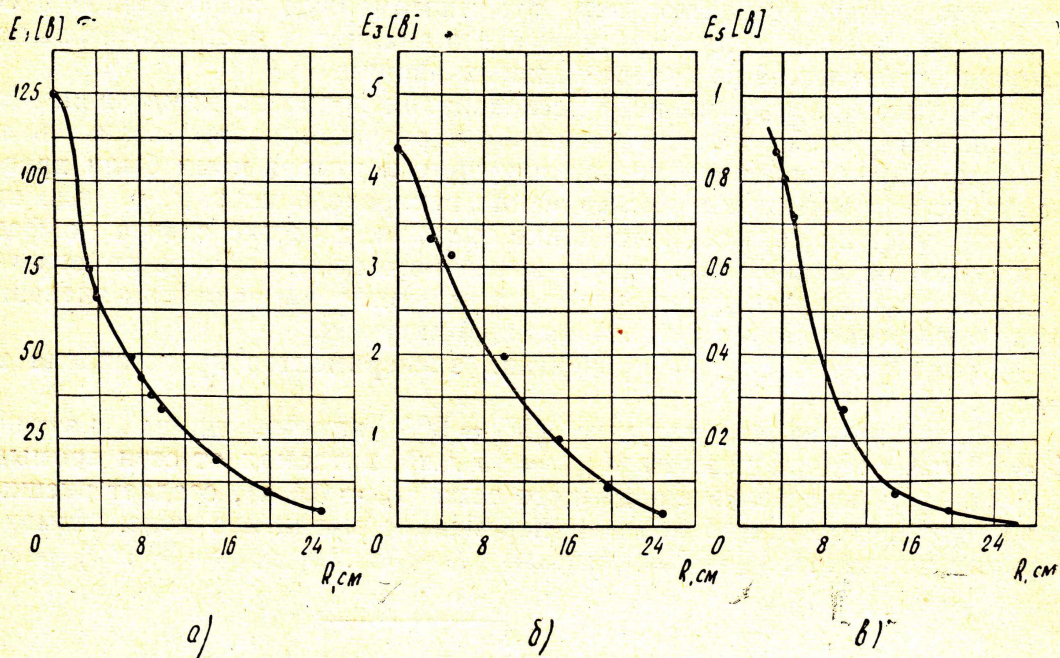


Рис. 2

постоянстве намагничивающего тока, длины и диаметра намагничивающей катушки амплитуда высших гармоник, как показал эксперимент, тем выше, чем больше значение магнитной проницаемости стержня. Характер изменения индукций высших гармоник по длине образца одинаков. Не было замечено существенного отличия декрементов затухания высших гармоник э. д. с. по длине прутка. Для оценки возможности применения неразрушающего контроля твердости (термообработки) протяженных изделий (прутков, труб, стержней) по амплитуде высших гармоник э. д. с. на рис. 3, а построен график зависимости отношения э. д. с. гармоник (1, 3, 5), соответствующих мягкому и твердому образцам, от расстояния между измерительной и намагничивающей катушками.

При проведении эксперимента было замечено, что разрешающая способность контроля твердости образцов по амплитуде первой и высшей гармоник увеличивается с увеличением расстояния между измерительной и намагничивающей катушками. Однако разрешающая способность контроля по высшим гармоникам неодинакова. С увеличением номера гармоники разрешающая способность контроля увеличивается, достигает максимума для пятой гармоники и далее монотонно убывает. На рис. 3, б представлен график чувствительности метода контроля твердости по высшим гармоникам в зависимости от номера гармоники.

Высокая чувствительность контроля твердости по амплитуде пятой гармоники позволяет не применять дифференциальную схему включения датчиков.

Для оценки возможности амплитудно-фазового разделения информации о твердости стержней были проведены измерения фазы основной и высших гармоник э. д. с. по длине образца. С увеличением расстояния между катушками сдвиг по фазе относительно намагничивающего тока

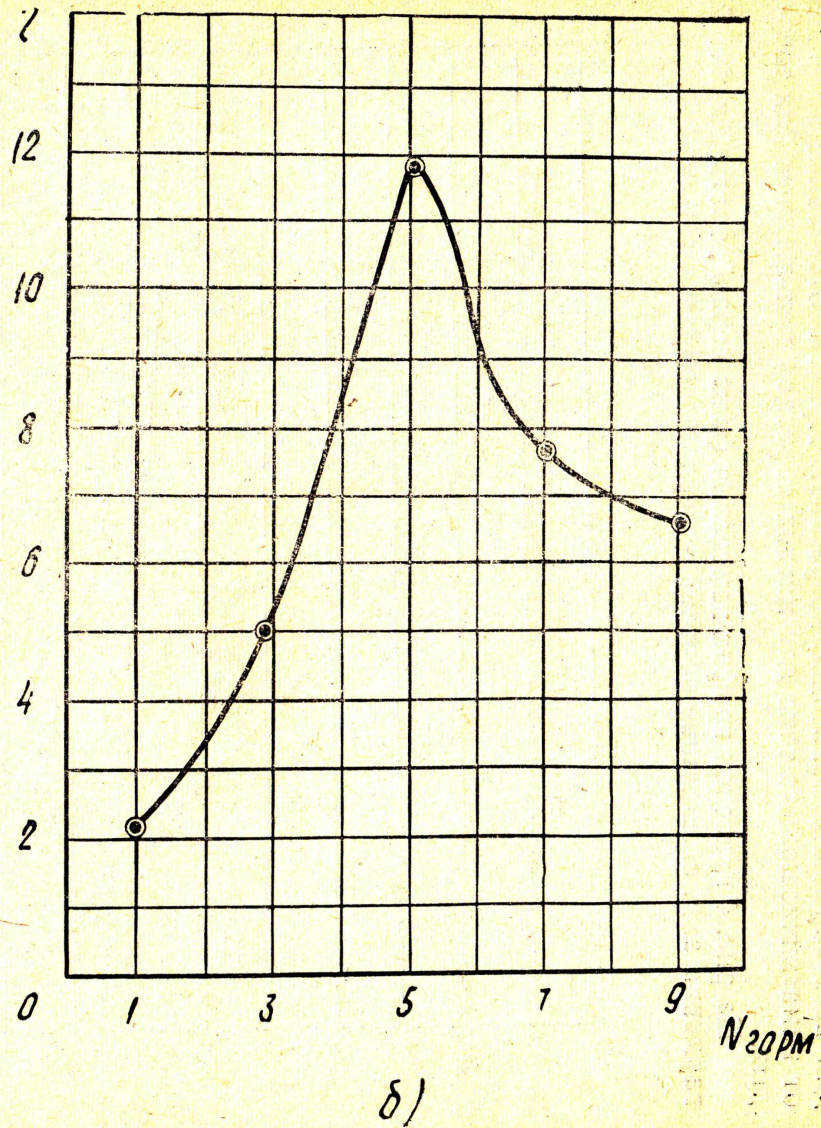
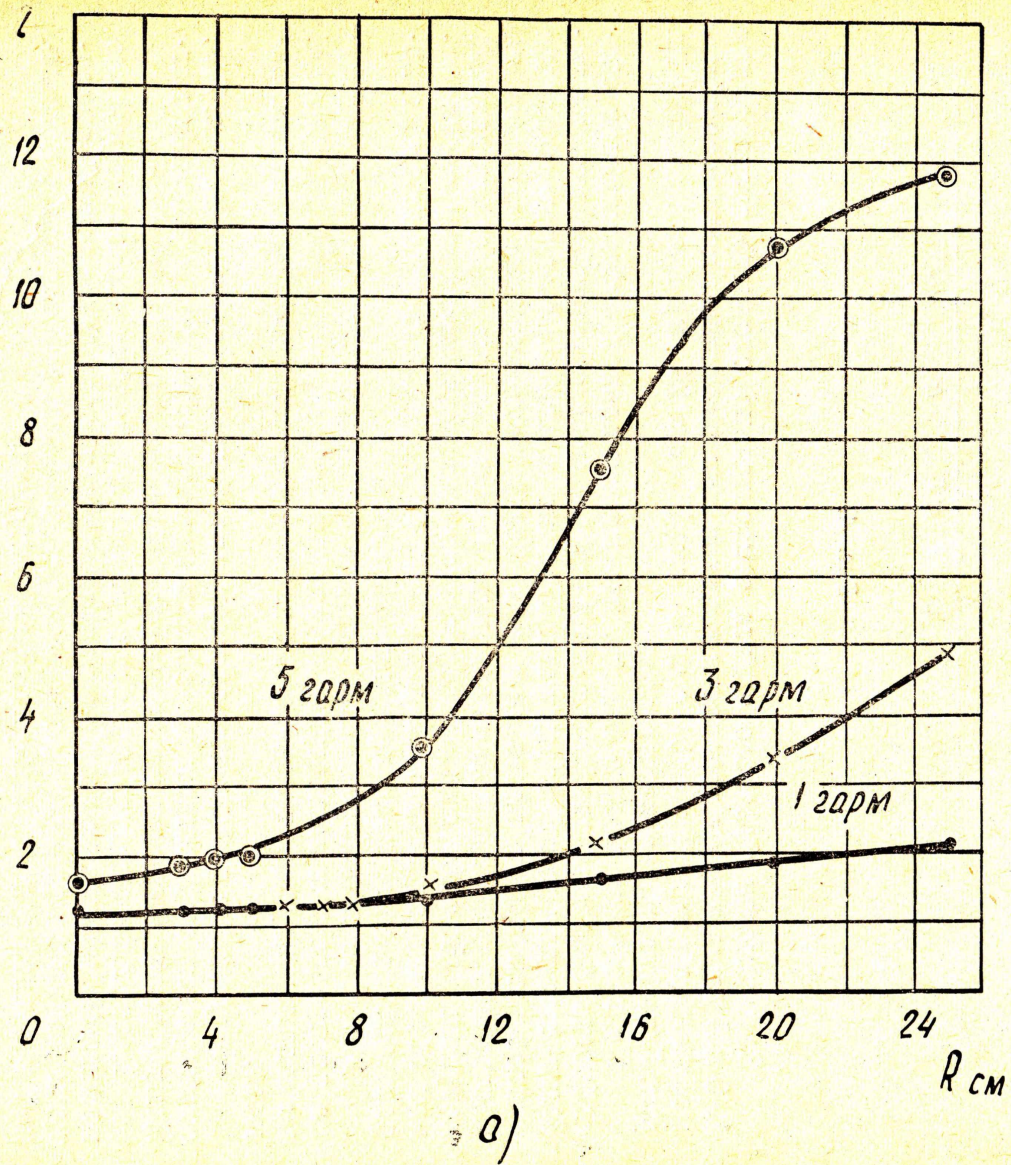


Рис. 3

для всех гармоник монотонно возрастает. Причем отставание по фазе от намагничивающего тока для мягких образцов меньше, чем для твердых.

На рис. 4 приведен график изменения фазы первой, третьей и пятой гармоник э. д. с. по длине образца (твердость образца $HV = 214$).

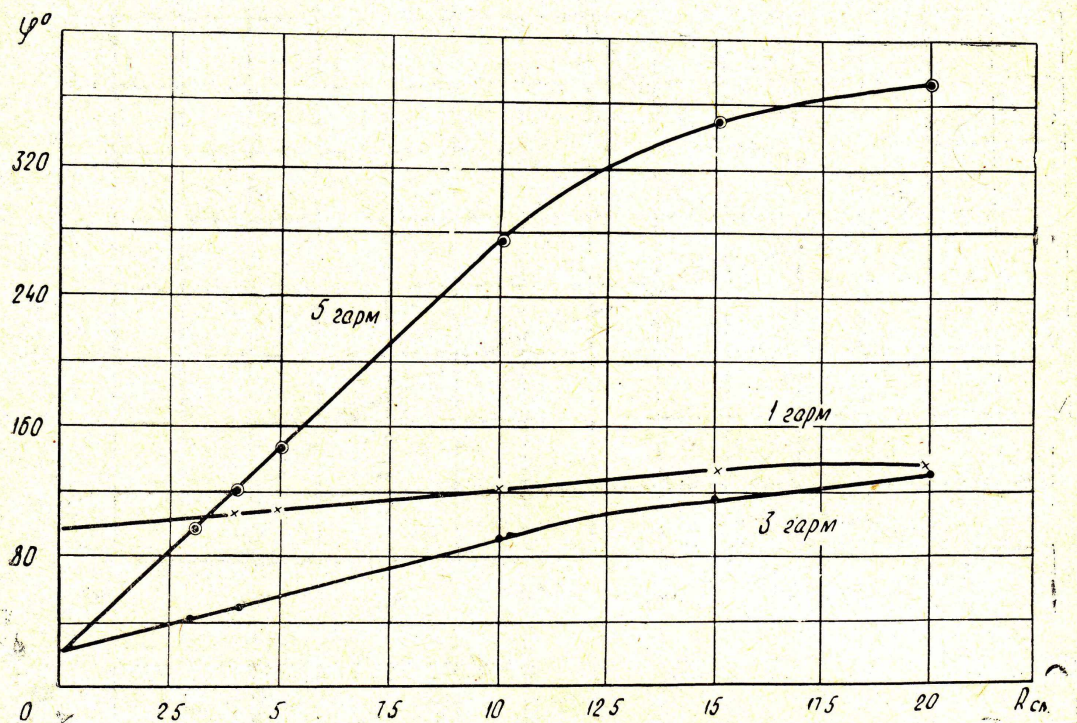


Рис. 4.

Зависимости фазового сдвига относительно опорного сигнала для 1, 3 и 5 гармоник от твердости прутков при различных положениях измерительной катушки (0 см, 3 см, 15 см, 25 см) представлены на рис. 5 а, б, в, г, соответственно.

Из графиков можно видеть, что максимальная разрешающая способность контроля твердости прутков по фазе сигнала гармоники наблюдается для пятой гармоники. Причем максимальная разрешающая способность имеет место при помещении измерительной катушки на расстоянии, равном приблизительно шести длинам намагничивающей катушки ($150 \div 200$ мм). Разброс экспериментальных точек на графиках объясняется некоторой неоднородностью физико-механических характеристик материала по длине образцов.

Местные неоднородности прутков существенным образом влияют на распределение амплитуды и фазы высших гармоник вдоль образца, но скачки индукций в локальных неоднородностях несколько сглаживаются.

Полученные результаты экспериментов, представленные на рис. 3, а, согласуются с качественным объяснением, учитывающим влияние магнитной проницаемости на величину собственного поля образца.

Появление высших гармоник э. д. с. вызывается зависимостью магнитной проницаемости от напряженности поля. Увеличение амплитуды намагничивающего поля вызовет увеличение нелинейных искажений в кривой э. д. с. измерительной катушки.

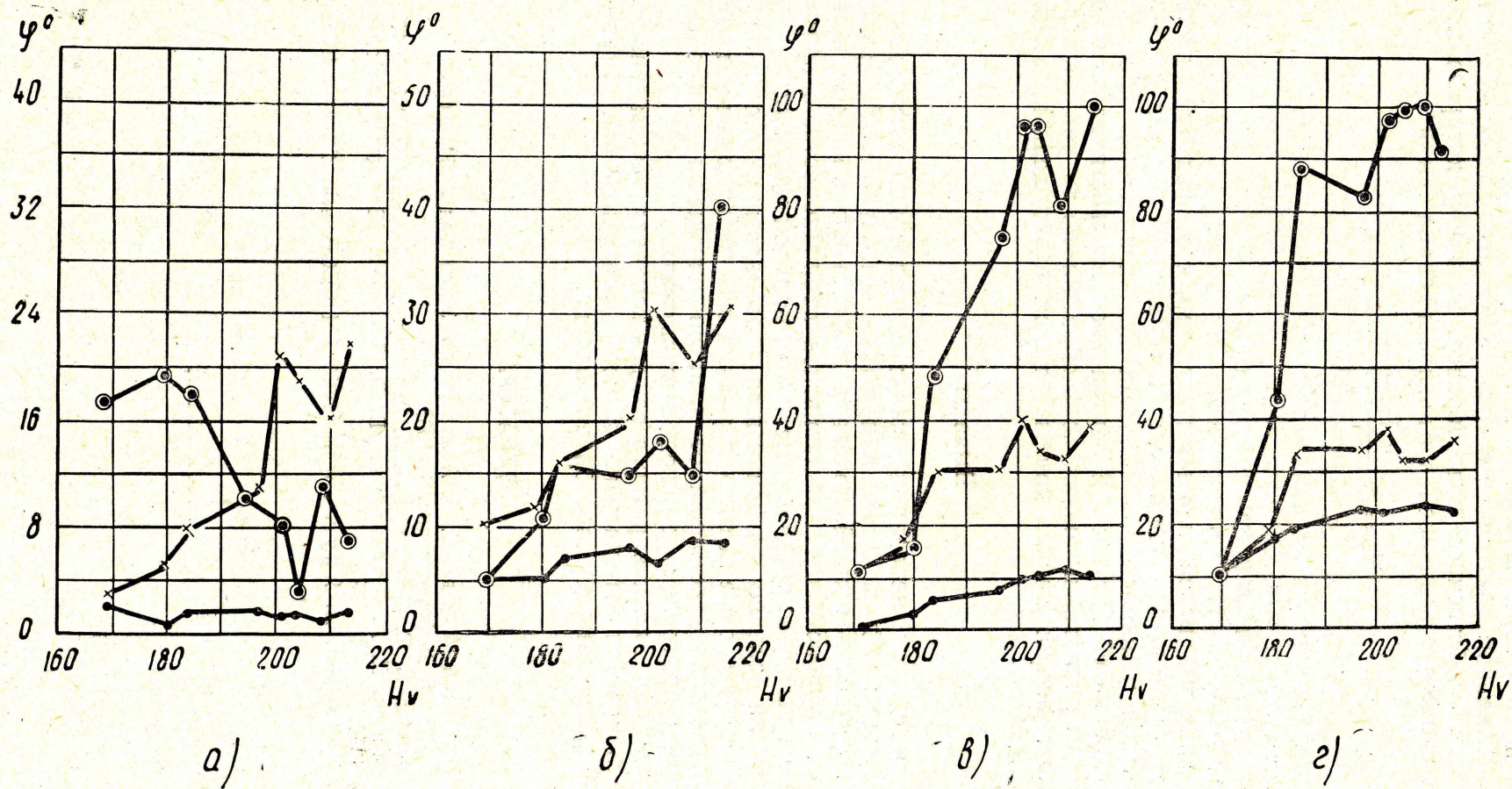


Рис. 5. —●×○— 1, 3, 5 гармоники, соответственно

Внешнее поле намагничивающей обмотки намагничивает заметно ферромагнитный образец, длина которого значительно больше длины обмотки, лишь в центре обмотки [3].

На значительном расстоянии от центра намагничивающей обмотки действует лишь собственное поле образца, величину которого можно упрощенно связать с величиной магнитной проницаемости

$$H_0 = N \frac{\mu_0 H_n (\mu - 1)}{4\pi},$$

где N — коэффициент размагничивания;
 H_n — истинная напряженность поля;
 μ_0 — магнитная проницаемость пустоты;
 H_0 — напряженность размагничивающего поля.

Увеличение магнитной проницаемости мягких изделий вызывает увеличение размагничивающего поля и амплитуды высших гармоник при помещении измерительной катушки на значительном расстоянии от намагничивающей катушки. В центральной плоскости намагничивающей обмотки размагничивающее поле образцов почти уравнивает результирующую напряженность поля и, следовательно, величины амплитуд гармоник.

Выводы

1. На основании экспериментальных исследований распределения высших гармоник э. д. с. по длине прутков из стали 50ХФА, намагничиваемых короткой катушкой, показана возможность контроля твердости прутков, отличающихся по магнитной проницаемости, с применением гармонического анализа э. д. с. измерительной катушки.

2. Получена большая разрешающая способность контроля твердости по амплитуде и фазе высших гармоник при расположении измерительной катушки на расстоянии от намагничивающей и соосно с ней по сравнению с контролем по основной гармонике.

3. Определены для конкретного случая контроля оптимальное расположение измерительной катушки и номер гармоники для получения наибольшей разрешающей способности метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Пустынников, С. Д. Анисимов. Заводская лаборатория 10, 1964.
2. Р. Е. Ершов. Дефектоскопия, 1, 1966.
3. Р. И. Янус, В. С. Обухов, Л. А. Шубина. ЖТФ, 11, 10, 936, 1941.
4. Р. И. Янус, П. А. Халилеев, В. В. Власов. Заводская лаборатория, IX, 10, 1103, 1940.
5. Э. И. Попов, Р. И. Янус. Труды ИФМ АН СССР, вып. 24, 140, 1965.