

DOI: 10.24412/2077-8481-2026-3-131-139

УДК 620.179.14

В. А. НОВИКОВ, д-р техн. наук, проф.

В. Г. ПАНТЮШИНА

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТОДИКА МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация

Описаны подготовка поверхности контролируемого объекта и настройка дефектоскопа перед проведением дефектоскопии объекта. Приведены положения универсальной методики магнитографического контроля, учитывающей как конструктивно-технологические особенности изделий, так и вид, и тип обнаруживаемых дефектов, особые условия эксплуатации объекта. Ее реализация позволит уверенно обнаруживать недопустимые дефекты сплошности в различных изделиях из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Ключевые слова:

неразрушающий контроль, магнитографический метод, дефекты сплошности, методика контроля.

Для цитирования:

Новиков, В. А. Универсальная методика магнитографического контроля ферромагнитных объектов / В. А. Новиков, В. Г. Пантюшина // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 3 (92). – С. 131–139.

Введение

В связи с появлением высокоэффективных способов намагничивания, магнитного и магнитографического контроля возникла необходимость в разработке универсальной методики контроля, позволяющей значительно повысить возможности метода контроля. В ее основу положен принцип раздельного контроля объектов на наличие различных дефектов, учитывающий как конструктивно-технологические особенности изделия, так и вид, тип, ориентацию дефектов в нем, а также различные ограничения, налагаемые на условия контроля, связанные со специфическими особенностями эксплуатации объекта.

Далее приведены основные положения методики контроля для разных случаев.

Предполагается, что предварительно поверхность контролируемого объекта была очищена от грязи и других

наслоений, препятствующих прилеганию магнитной ленты к поверхности объекта. Во всех случаях осуществлена привязка магнитной ленты к поверхности объекта, чтобы по результатам контроля определить места расположения недопустимых дефектов в объекте. Дефектоскоп перед считыванием записи с магнитной ленты настроен по эталонной ленте, полученной при контроле испытательного образца, содержащего дефекты, соответствующие минимальному браковочному уровню.

Контроль объектов на наличие поверхностных дефектов микроскопического раскрытия

1. Уложить магнитную ленту типа И4701-35 на поверхность контролируемого объекта вдоль направления распространения дефектов и осуществить ее привязку.

2. Намагнитить объект контроля вместе с магнитной лентой в направлении, перпендикулярном ориентации дефектов, полем напряженностью 80 А/см.

3. В процессе намагничивания переместить магнитную ленту по поверхности объекта со скольжением перпендикулярно направлению ориентации дефектов на расстояние от 2,8 до 3,2 мм.

4. После отключения внешнего поля извлечь магнитную ленту, считать с нее запись на дефектоскопе, предварительно настроенном с помощью эталонной магнитной ленты, отметить на ней места, соответствующие недопустимым дефектам в объекте.

5. Приложить магнитную ленту к поверхности объекта по предварительно сделанной привязке, отметить на нем места недопустимых дефектов.

Контроль объектов на наличие поверхностных дефектов в особых условиях (в труднодоступных местах, на большой высоте, под водой, во взрывоопасных помещениях и т. д.)

1. Уложить магнитную ленту типа И4732-35 (или В3806-35) на поверхность контролируемого объекта вдоль предполагаемого направления распространения дефектов.

2. Уложить на объект и ленту прозрачную триацетатную пленку толщиной 0,2 мм.

3. Намагнитить контролируемый участок объекта, перемещая постоянный магнит в форме параллелепипеда поперек ленты, уложенной вдоль направления распространения дефектов последовательно участками, равными ширине магнита, до полного намагничивания всего объекта (при этом магнит обращен одним полюсом к ленте, а его наклон к поверхности объекта должен быть таким же, как и при настройке дефектоскопа по эталонному образцу).

4. Считать запись с магнитной ленты, отметить на ней места, соответ-

ствующие двуполярным сигналам на сигналограмме.

5. Приложить магнитную ленту к поверхности объекта, отметить на нем места недопустимых дефектов.

Магнитографический контроль сварных соединений

Для настройки дефектоскопа на предельную чувствительность при магнитографическом контроле сварных соединений нужно использовать испытательный образец. Он представляет собой часть контролируемого изделия, сварной шов которого выполнен по той же технологии, что и шов изделия, подлежащий контролю. В некоторых местах в корне шва испытательного образца выполнен искусственный дефект, соответствующий минимальному браковочному уровню. При контроле испытательного образца используют рабочие намагничивающие устройства и рабочие режимы намагничивания.

Для оперативной оценки влияния параметров выпуклости шва на чувствительность контроля для настройки дефектоскопа вместо испытательного образца может быть использован контрольный образец, представляющий собой две пластины, выполненные из материала контролируемого изделия, соединенные швом с монотонно изменяющейся величиной радиуса кривизны выпуклости сварного шва $R=b^2/8c$, где b – ширина выпуклости шва; c – ее высота [1]. Контрольный образец содержит планки 1 и 2, соединенные сварным швом 3, и дефект в корне шва, соответствующий минимальному браковочному уровню (рис. 1).

В [2] показано, что для одинаковых дефектов, расположенных на одинаковой глубине в плоскостях симметрии швов контролируемого изделия и такого контрольного образца, можно создать условия, при которых топографии тангенциальных составляющих

напряженностей результирующих полей на поверхностях швов контрольного образца и контролируемого изделия в плоскостях симметрии швов, включая их окрестности ± 3 мм, будут тождественны.

С этой целью для получения контрольной магнитограммы используют два образца с монотонно изменяющимися радиусами кривизны валиков швов в плоскостях их симметрии: один без дефектов, а второй с дефектом в корне шва, соответствующим минимальному браковочному уровню. Сначала на бездефектном образце с помощью проградуированного ленточного локального магнитоно-

сителя подбирают оптимальный режим намагничивания (80 А/см) в том месте шва, где радиус кривизны выпуклости шва контрольного образца равен радиусу кривизны выпуклости шва контролируемого изделия. При этом режиме с использованием рабочих намагничивающих устройств контролируют контрольный образец, получая контрольную магнитограмму, а также объект. Если амплитуда сигнала, обусловленного дефектом в объекте контроля, превышает браковочный уровень сигнала, полученного для сечения контрольного образца, где $R_{\text{шва к. обр}} = R_{\text{шва к. изд}}$, то дефект считают недопустимым [2].

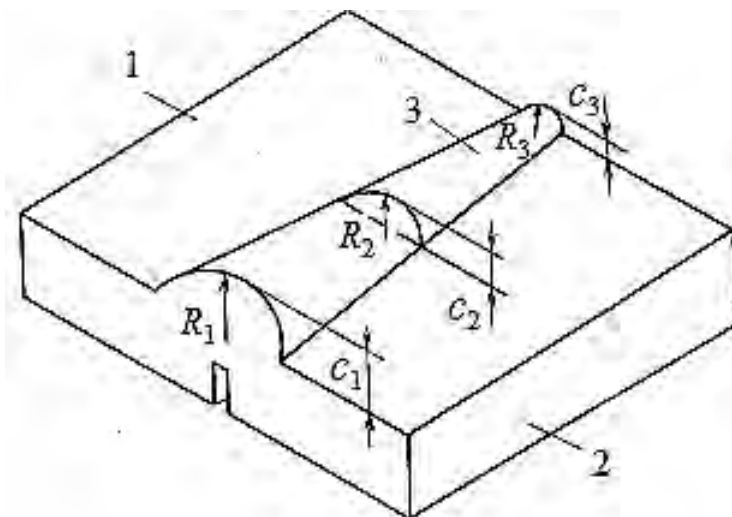


Рис. 1. Общий вид контрольного образца [1]: радиус R кривизны выпуклости шва в плоскости симметрии изменяется вдоль длины шва монотонно ($R = b^2/8c$, где b – ширина шва; c – высота выпуклости)

Перед проведением дефектоскопии следует также убедиться, что толщина s стенки контролируемого объекта при данной ширине b и высоте c выпуклости шва такова, что исключается недобраковка изделия вследствие дефокусировки поля рассеяния дефекта на поверхности контролируемого шва, а поле рассеяния даже крупного дефекта не обуславливает настолько малый гра-

диент напряженности поля на поверхности выпуклости шва, что дефект не обнаруживается. С этой целью определяют s по номограммам в зависимости от ширины b и высоты c выпуклости шва (рис. 2) или по приближенной формуле $s \leq 1,1(R_0 - c)$, где R_0 – радиус кривизны выпуклости шва в плоскости его симметрии, $R_0 = b^2/8c$ (рис. 3) [2].

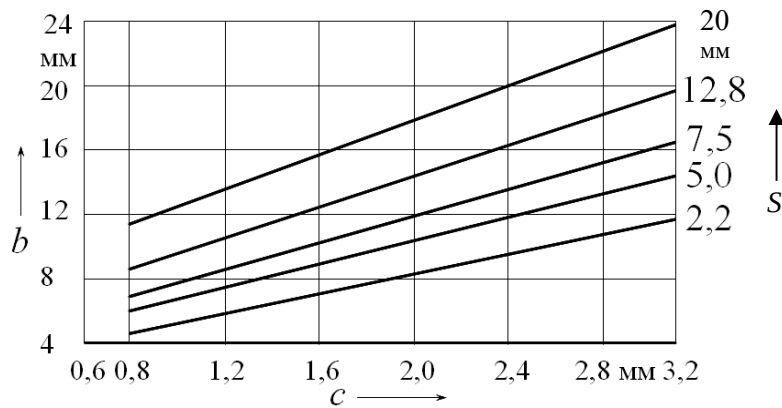


Рис. 2. Номограммы для определения толщины контролируемого металла, в котором дефекты обнаруживаются только с возможностью завышения величины

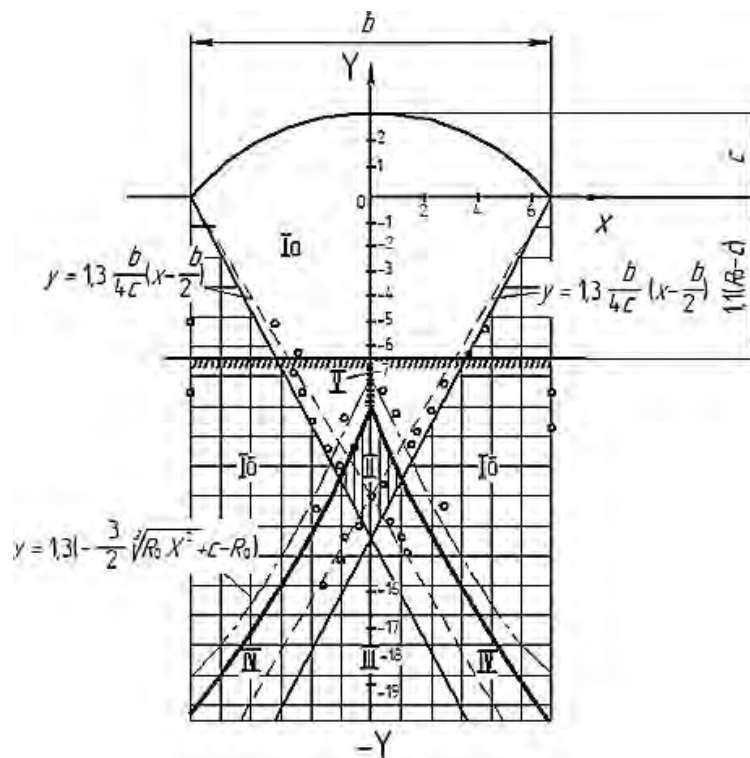


Рис. 3. Области качественно разной выявляемости дефектов в сварном соединении при намагничивании шва в поперечном направлении: если дефект находится в области Ia, то магнитное поле рассеяния, обусловленное им, возникает на поверхности выпуклости шва в одном месте; если в области II, то происходит делокализация поля рассеяния дефекта и одинаковые поля рассеяния малой напряженности возникают в двух местах, на равном расстоянии от плоскости симметрии шва; если в области III – то в двух местах, совпадающих с краями выпуклости шва; если в области IV – то на поверхности шва и у края выпуклости; если в области V, то поле рассеяния дефекта на поверхности шва не обнаруживается из-за малого градиента напряженности поля

Намагничивающие устройства в виде электромагнита с П-образным сердечником (если не оговорено иное) обычно содержат ролики из немагнитного материала, позволяющие переме-

щать устройство вдоль всей длины шва [3]. Перед проведением контроля магнитную ленту размагничивают [3] или подготавливают специальным образом [4–6], о чем должно быть указано.

Раздельное обнаружение компактных дефектов и протяженных дефектов, ориентированных вдоль шва, если отношение ширины выпуклости шва к ее высоте больше 7.

1. Для намагничивания сварного шва в поперечном направлении, с целью обнаружения протяженных дефектов, ориентированных вдоль продольной оси шва, использовать цепочку электромагнитов с П-образным сердечником, что исключает (или уменьшает) растекание магнитного потока в изделии.

2. Уложить предварительно размагнитненную магнитную ленту на поверхность шва вдоль его продольной оси, прижать к поверхности, закрепить.

3. Установить намагничивающее устройство на поверхность объекта (или объект контроля на полюсы электромагнитов намагничивающего устройства) таким образом, чтобы его полюсы были ориентированы вдоль продольной оси шва и находились на одинаковом расстоянии от его краев.

4. Включить на 2...3 с намагничивающий ток в катушках электромагнитов.

5. Извлечь магнитную ленту, считать запись на дефектоскопе, отметить на ней места, соответствующие недопустимым протяженным дефектам в сварном шве.

6. Приложить магнитную ленту к поверхности объекта, отметить на нем места недопустимых протяженных дефектов.

7. Для намагничивания сварного шва в продольном направлении, с целью обнаружения компактных дефектов, использовать электромагнит с П-образным сердечником, полюсы которого имеют проемы шириной 40...45 мм и высотой не менее 50 мм для прохождения в них сварного шва с уложенной на его поверхности магнитной лентой.

8. Уложить предварительно размагнитненную магнитную ленту на поверхность шва вдоль его продольной оси, прижать к поверхности, закрепить.

9. Если контролируемый шов не кольцевой, то у начала и конца шва к торцам контролируемого объекта пристыковать технологические пластины.

10. Установить намагничивающее устройство таким образом, чтобы один полюс электромагнита находился над поверхностью технологической пластины, а второй – над поверхностью изделия.

11. Протянуть намагничивающее устройство вдоль шва до выхода его полюсов на вторую технологическую пластину.

12. Извлечь магнитную ленту, считать запись с ленты вдоль линии намагничивания на дефектоскопе, отметить на ней места, соответствующие недопустимым компактным дефектам в сварном шве.

13. Приложить магнитную ленту к поверхности объекта, отметить на нем места недопустимых компактных дефектов.

Обнаружение протяженных дефектов, ориентированных вдоль шва, если отношение ширины выпуклости шва к ее высоте меньше 7, а подход к обратной стороне шва отсутствует.

1. Для намагничивания сварного шва в поперечном направлении, с целью обнаружения протяженных дефектов, ориентированных вдоль продольной оси шва, использовать электромагнит с П-образным сердечником, содержащий концентраторы магнитной индукции.

2. Целесообразно применить концентраторы магнитной индукции в виде подмагничивающих пластин, прикрепленных к полюсам намагничивающего устройства с П-образным сердечником и располагающихся на высоте $C + \Delta$ от поверхности объекта, где $\Delta \leq 4$ мм, у которых расстояние между гранями КМИ равно ширине шва (рис. 4) [7]. В этом случае сварной шов будет намагнитен сильнее и более равномерно в поперечном направлении [7].

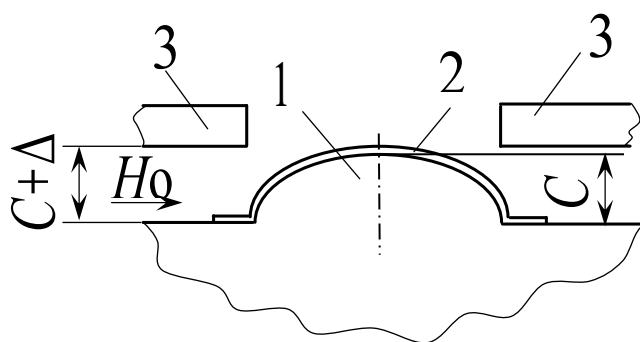


Рис. 4. Вид и расположение КМИ при осуществлении способа магнитографического контроля [7]: 1 – контролируемый сварной шов; 2 – магнитная лента; 3 – концентраторы магнитной индукции

Несколько хуже, если применить схему, изображенную на рис. 5 [8].

Расстояние между КМИ толщиной 6 мм при этом составляет 35 мм.

3. Для намагничивания сварного шва в продольном направлении, с целью

обнаружения компактных дефектов, использовать электромагнит с П-образным сердечником, полюсы которого имеют проемы шириной 40...45 мм и высотой не менее 50 мм.

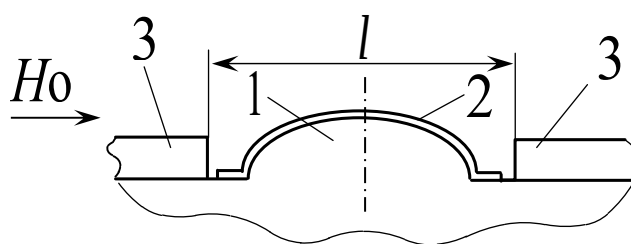


Рис. 5. Вид и расположение КМИ при осуществлении способа магнитографического контроля [8]: 1 – контролируемый сварной шов; 2 – магнитная лента; 3 – концентраторы магнитной индукции

Обнаружение компактных дефектов и протяженных дефектов, ориентированных вдоль шва, если отношение ширины выпуклости шва к ее высоте меньше 7 и имеется подход к обратной стороне шва.

1. Прижать магнитную ленту к поверхности обратной выпуклости шва и закрепить ее, осуществив привязку ленты к объекту контроля.

2. Включить рабочий ток в катушке электромагнита намагничивающего

устройства, снабженного концентраторами магнитной индукции (рис. 6) [9], и переместить устройство вдоль шва.

3. Извлечь магнитную ленту, считать запись с ленты на дефектоскопе, отметить на ней места, соответствующие недопустимым компактным и протяженным дефектам в сварном шве.

4. Приложить магнитную ленту к поверхности объекта, отметить на нем места недопустимых дефектов.

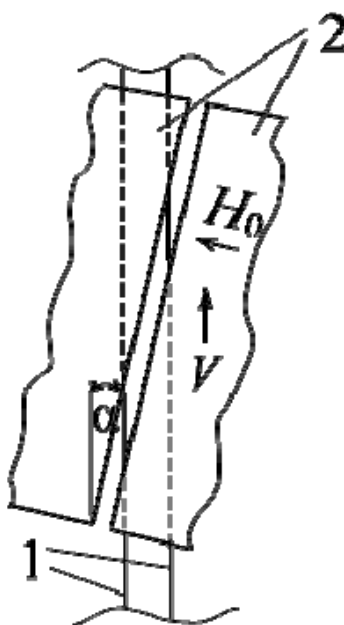


Рис. 6. Расположение КМИ при осуществлении способа намагничивания [9]: 1 – контролируемый сварной шов; 2 – пластины прямоугольного сечения

Обнаружение компактных дефектов и протяженных дефектов, ориентированных вдоль шва, в соединениях, выполненных на остающейся подкладке, если отношение ширины выпуклости шва к ее высоте меньше 7 и нет подхода к обратной стороне шва.

При обнаружении протяженных и компактных дефектов в соединениях, выполненных на остающейся подкладке, руководствоваться вышеизложенными положениями методики.

Контроль объектов на остаточной намагниченности

1. Отрезок магнитной ленты, длина которого на 100...150 мм больше протяженности контролируемой зоны, подвергнуть поляризации (намагнитить в поперечном направлении до насыщения полем, напряженность которого (5...8) H_c ленты).

2. Уложить магнитную ленту на поверхность намагниченного объекта сверху вниз или последовательно вдоль

предполагаемого направления распространения дефектов.

3. Осуществить привязку магнитной ленты к контролируемой поверхности.

4. Извлечь магнитную ленту с контролируемой поверхности путем удаления снизу вверх или последовательно вдоль зоны контроля.

5. Считать запись с магнитной ленты на дефектоскопе, отметить на ней места недопустимых дефектов.

6. Приложить магнитную ленту к поверхности контролируемого объекта по предварительно сделанной привязке и отметить на его поверхности места, соответствующие недопустимым дефектам.

Заключение

В сварных соединениях изделий из низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей подавляющее большинство дефектов сплошности (непровары, подрезы, цепочки пор, шлаковых включений) ориентировано вдоль про-

дольной оси шва. Поэтому при магнитографическом контроле рекомендовали такие объекты намагничивать поперек продольной оси шва, т. к. вектор напряженности внешнего поля в этом случае ориентирован перпендикулярно направлению распространения дефектов и их выявляемость будет наилучшей. По этой причине дефектоскопы комплектовались устройствами, которые намагничивают шов поперек его продольной оси (дисковые электромагниты, подвижные намагничивающие устройства, намагничивающие клещи, магнитные вилки, магнитные пояса и др.).

В связи с разработкой высокоэффективных способов намагничивания и магнитного контроля разработана уни-

версальная методика магнитографического контроля различных объектов, учитывающая как конструктивно-технологические особенности соединения, так и тип, и вид дефектов, ориентацию их в зоне контроля, особые условия эксплуатации объекта (коррозионная среда, длительное время эксплуатации, труднодоступные места, большая высота, под водой, взрывоопасное помещение и т. д.). Описаны подготовка поверхности контролируемого объекта и настройка дефектоскопа перед проведением дефектоскопии объекта. Приведены положения универсальной методики магнитографического контроля ферромагнитных объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство SU 741136. Контрольный образец для магнитной дефектоскопии : опубл. 15.06.1980 / Шарова А. М., Новиков В. А.
2. **Новиков, В. А.** Исследование магнитографического метода контроля стыковых сварных соединений с целью повышения его разрешающей способности : дис. ... канд. техн. наук : 01.04.11 / Новиков Владимир Алексеевич. – Свердловск, 1985. – 208 с.
3. **Фалькевич, А. С.** Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.: ил.
4. **Козлов, В. С.** Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн. : Выш. шк., 1976. – 280 с.: ил.
5. Авторское свидетельство SU 1534380. Способ магнитографического контроля изделий из ферромагнитных материалов : опубл. 07.01.1990 / Новиков В. А., Кублицкая Л. В., Киселева Т. М.
6. Авторское свидетельство SU 1633349. Способ магнитографического контроля : опубл. 07.03.1991 / Новиков В. А.
7. Авторское свидетельство SU 1422125. Способ магнитографического контроля : опубл. 07.09.1988 / Новиков В. А.
8. Авторское свидетельство SU 1196746. Способ магнитографического контроля сварных соединений : опубл. 07.12.1985 / Шарова А. М., Новиков В. А., Магилинский А. П.
9. Авторское свидетельство SU 1672345. Способ магнитографического контроля : опубл. 23.08.1991 / Новиков В. А.

Статья сдана в редакцию 3 февраля 2026 года

Контакты:

novikov.bru@yandex.by (Новиков Владимир Алексеевич);
valeria.pantyushina@mail.ru (Пантюшина Валерия Геннадьевна).

V. A. NOVIKOV, V. G. PANTYUSHINA

**UNIVERSAL METHOD FOR MAGNETOGRAPHIC TESTING
OF FERROMAGNETIC OBJECTS**

Abstract

This article describes the surface preparation of the test object and the flaw detector configuration prior to flaw detection. It presents the principles of a universal magnetographic inspection methodology that takes into account both the design and technological features of the products, the type and nature of the detectable defects, and the specific operating conditions of the object. Its implementation will enable the reliable detection of unacceptable continuity defects in various products made of low-carbon and low-alloy steels.

Keywords:

non-destructive testing, magnetographic method, continuity defects, testing methodology.

For citation:

Novikov, V. A. Universal method for magnetographic testing of ferromagnetic objects / V. A. Novikov, V. G. Pantyushina // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2026. – № 3 (92). – P. 131–139.