

**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ / METHODS AND DEVICES FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ В ПЛАНЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ**

Научная статья

**Шлеенков А.С.<sup>1</sup>, Пастухов А.Б.<sup>2,\*</sup>, Губанов Я.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-6135-1504;

<sup>1,2</sup> Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (pastukhov[at]imp.uran.ru)

**Аннотация**

Неразрушающий инструментальный контроль дефектов поверхности трубной заготовки на большинстве металлургических заводов в настоящее время отсутствует. Проводится только визуальный осмотр. В то же время эта проблема очень актуальна и пока не получила практического решения. Один из способов неразрушающего контроля – метод магнитной дефектоскопии. Данный метод реализуется с помощью применения анизотропных магниторезистивных датчиков. В сравнении с другими методами, не требует предварительной подготовки поверхности трубной заготовки. Разработана 3D модель установки неразрушающего контроля, эта предлагаемая конструкция дефектоскопа может быть встроена в технологическую линию предприятия. В статье описан способ решения этой проблемы.

**Ключевые слова:** магнитный контроль (MFL), матричный преобразователь, выявление дефектов поверхности трубной заготовки.

**RESEARCH THE POSSIBILITIES OF MAGNETIC FLAW DETECTION IN TERMS OF DETECTING DEFECTS IN THE SURFACE OF A PIPE BILLET**

Research article

**Shleenkov A.S.<sup>1</sup>, Pastukhov A.B.<sup>2,\*</sup>, Gubanov Y.V.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-6135-1504;

<sup>1,2</sup> M. N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

\* Corresponding author (pastukhov[at]imp.uran.ru)

**Abstract**

Non-destructive instrumental inspection of defects in the surface of the pipe billet is currently absent in most metallurgical plants. Only a visual inspection is carried out. At the same time, this problem is very urgent and has not yet received a practical solution. One of the methods of non-destructive testing is the method of magnetic flaw detection. This method is implemented using anisotropic magnetoresistive sensors. In comparison with other methods, it does not require preliminary preparation of the surface of the pipe billet. A 3D model of a non-destructive testing installation has been developed, this proposed design of the flaw detector can be integrated into the technological line of the enterprise. The article describes a way to solve this problem.

**Keywords:** magnetic control (MFL), matrix converter, detection of defects in the surface of the pipe billet.

**Введение**

Неразрушающий инструментальный контроль дефектов поверхности трубной заготовки, выпускаемой в соответствии с требованиями ГОСТ 34636-2020 [1] на большинстве металлургических комбинатов в настоящее время отсутствует. Проводится только визуальный контроль. Например, ультразвуковой неразрушающий контроль поверхностными волнами (УЗК) [2] не получил широкого применения в связи с физическими ограничениями. К недостаткам УЗК можно отнести: затухание поверхностных волн, кроме ослабления в материале объекта оно обуславливается ещё и микронеровностями поверхности, следами грязи, смазки и т.п. [3], при обнаружении трещин, они должны быть незаполненными, то есть если трещина имеет выход наружу, то в результате заполнения смазкой или водой она не может быть обнаружена. В документах [4], [5] приведена классификация дефектов для выявления. В то же время эта проблема является очень актуальной и до сих пор не получила практического решения [6]. В статье рассмотрен способ решения задачи.

Полный цикл исследований предусматривает, разработку, изготовление, поставку промышленного образца помехозащищенного дефектоскопического комплекса (далее установки) для автоматизированного неразрушающего контроля (НК) трубных заготовок, выпускаемых АО «ЕВРАЗ НТМК», в технологическом потоке их производства, а также интеграцию дефектоскопического комплекса в существующую линию после дробеметной установки и его комплексное внедрение.

Поставленная цель может быть достигнута за счет применения, разработанных и синтезированных в ИФМ УрО РАН новых однокристалльных тонкопленочных матричных преобразователей на основе анизотропных магниторезистивных датчиков типа АМРД с повышенной чувствительностью к поверхностным дефектам. Для практической реализации данной программы потребовалось провести ряд экспериментальных исследований, результаты которых и приводятся в данной статье.

### Образцы для исследований

Образцы трубной заготовки для исследований представляют собой цилиндры диаметром 120 мм, длиной 600мм, весом 65кг. На рисунке 1 показаны фотографии образцов с естественными дефектами. Предварительно визуальным и вихретоковым методами были обнаружены, обозначены маркером и пронумерованы возможные дефекты.



Рисунок 1 - Внешний вид образцов  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.1>

### Установка для исследований (описание)

Создан макет установки и выполнены исследования по изучению выявляемости поверхностных дефектов. По эскизам чертежей макета была создана трехмерная модель (рисунок2) предполагаемой рабочей установки.

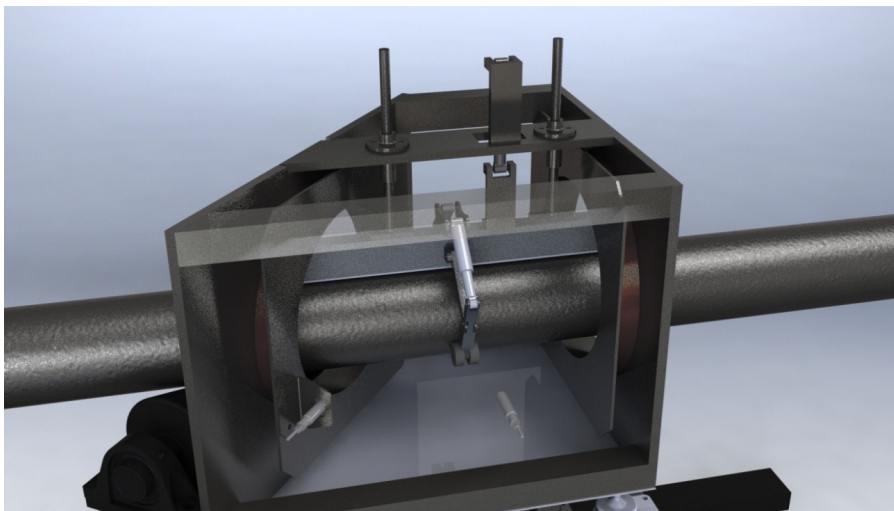


Рисунок 2 - Трехмерная модель макета магнитного дефектоскопа  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.2>

### Методика исследования эксперимента и технологии

Измерительная часть установки состоит из двух соленоидов, соединенных по схеме Гельмгольца, кассеты с магниторезистивными датчиками разработки ИФМ УрО РАН [7], блока коммутации датчиков, многоканального предварительного дифференциального усилителя, многоканального АЦП и устройства сбора и отображения результатов на ПК типа промышленной станции с монитором. Для автоматического синхронного чтения данных с АЦП, использован линейный двигатель перемещения кассеты вдоль оси образца. Вращательное движение образца производилось вручную. На рисунке 3 показана функциональная блок схема измерительной системы.

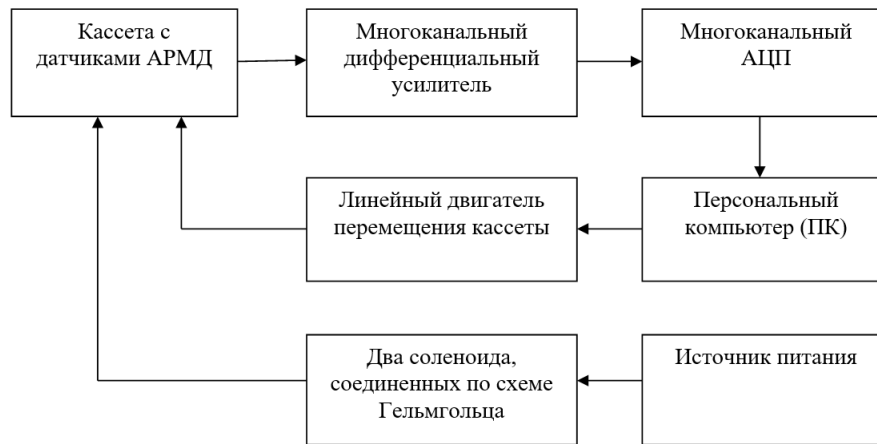


Рисунок 3 - Функциональная блок схема измерительной системы  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.3>

### Экспериментальные результаты и обсуждение

Результаты исследований представлены в виде дефектограмм конкретных дефектов и их фотографий. Замеров геометрических размеров дефектов и металлографических исследований не проводилось. Эксперименты по выявлению поверхностных дефектов на трубных заготовках проводились на нескольких образцах.

На рисунке 4 показана фотография дефекта тип: поперечная трещина и при продольном перемещении кассеты с датчиком на рисунке 5 виден отчетливый отклик от дефекта.



Рисунок 4 - Фотография дефекта тип: поперечная трещина  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.4>

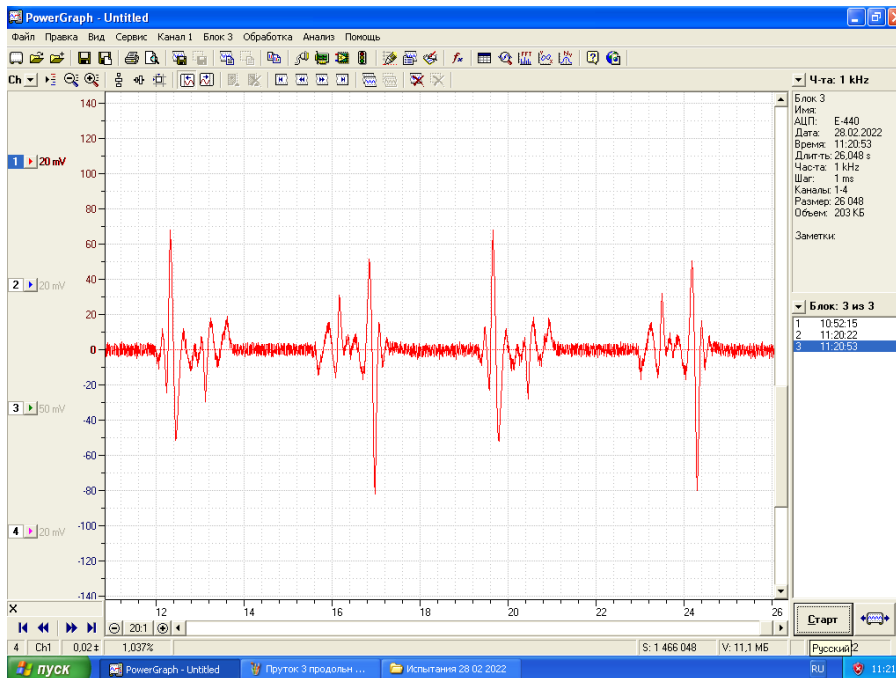


Рисунок 5 - Дефектограмма дефекта № 1  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.5>

*Примечание: при условиях: размагничивание, ток соленоидов 7А, перемещение продольное, датчик дифференциальный тип Нп зазор пластин датчика 4мм*

На рисунке 6 показана фотография дефектов тип: продольные подрезы, их отчетливо видно вдоль оси образца. Данный тип дефекта выявляется при вращении образца относительно кассеты с датчиком. На рисунке 7 показан отклик от дефекта.



Рисунок 6 - Фотография дефектов № 2,3 тип: продольные подрезы  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.6>



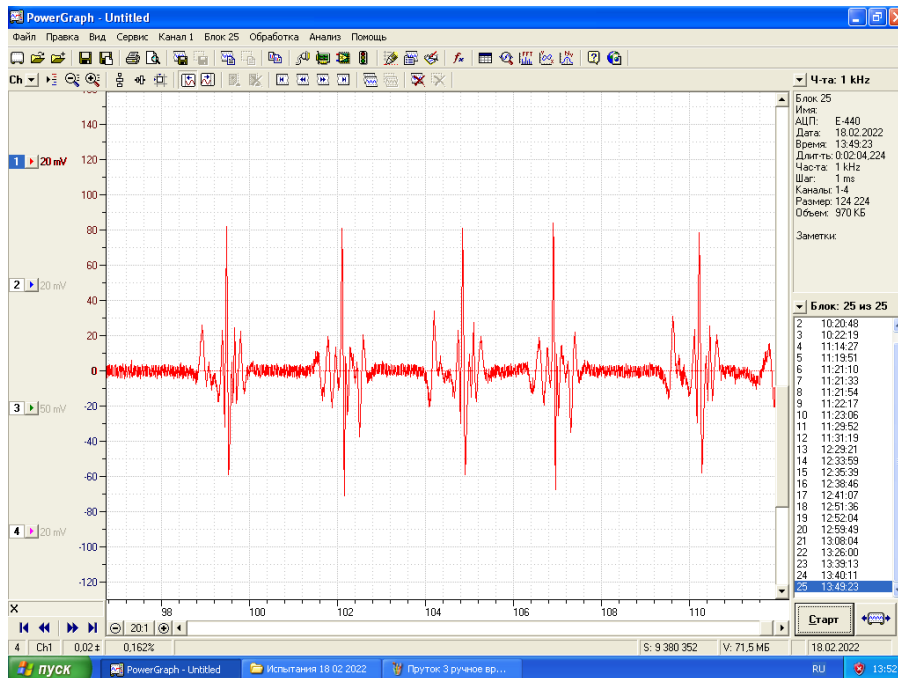


Рисунок 7 - Дефектограмма дефекта № 2  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.7>

*Примечание: при условиях: ток соленоида 7А вращение (ручное) датчик тип Нп зазор пластин датчика 10 мм*

На рисунке 8 показана фотография дефекта тип: закат. Данный тип дефекта имеет острые кромки в разных направлениях относительно оси образца и отчетливо выявляется при вращении образца относительно кассеты с датчиком. На рисунке 9 показан отклик от дефекта.



Рисунок 8 - Фотография дефекта № 5 тип: закат  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.8>

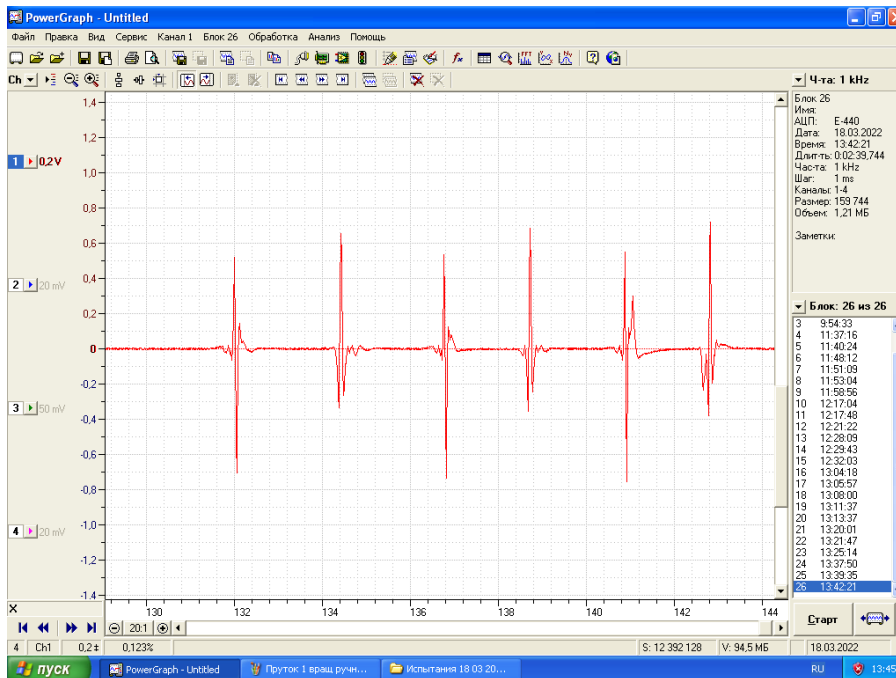


Рисунок 9 - Дефектограмма дефекта № 5  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.9>

*Примечание: при условиях: размагничивание, ток соленоида 7А, вращение (ручное) датчик дифференциальный тип Нп зазор пластин датчика 4 мм*

На рисунке 10 показана фотография дефектов тип: риска. Эти оба дефекта имеют одинаковый тип, но кромки расположены по-разному относительно оси образца. Поэтому на рисунке 11 показан отклик от дефекта при вращении образца, а на рисунке 12 показан отклик от дефекта при продольном перемещении.



Рисунок 10 - Фотография дефектов № 7,8 тип: риска  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.10>

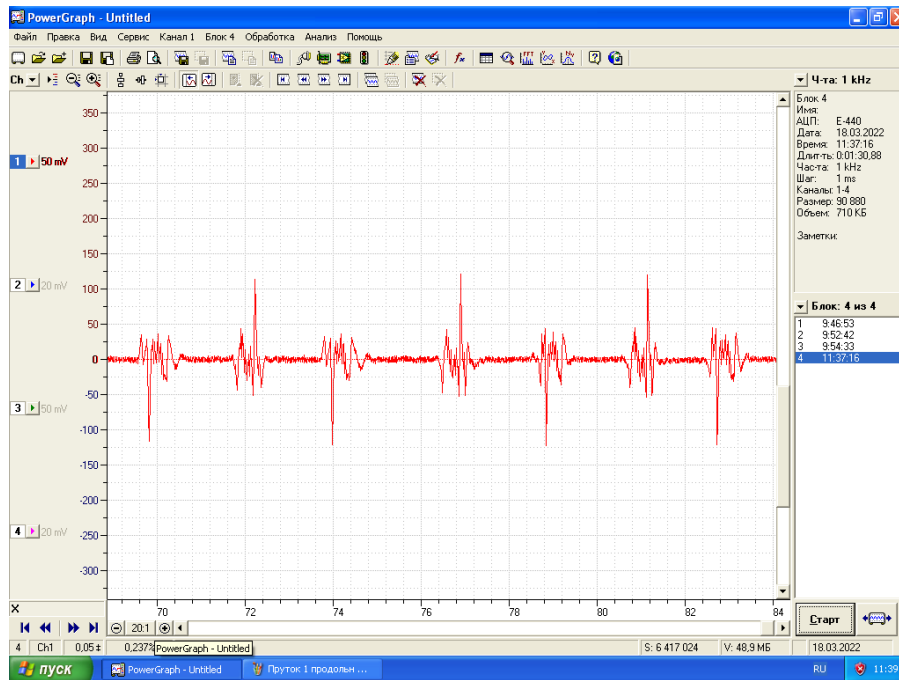


Рисунок 11 - Дефектограмма дефекта № 7  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.11>

*Примечание: при условиях: размагничивание, ток соленоида 7А, вращение (ручное) датчик дифференциальный тип Нп зазор пластин датчика 4мм*

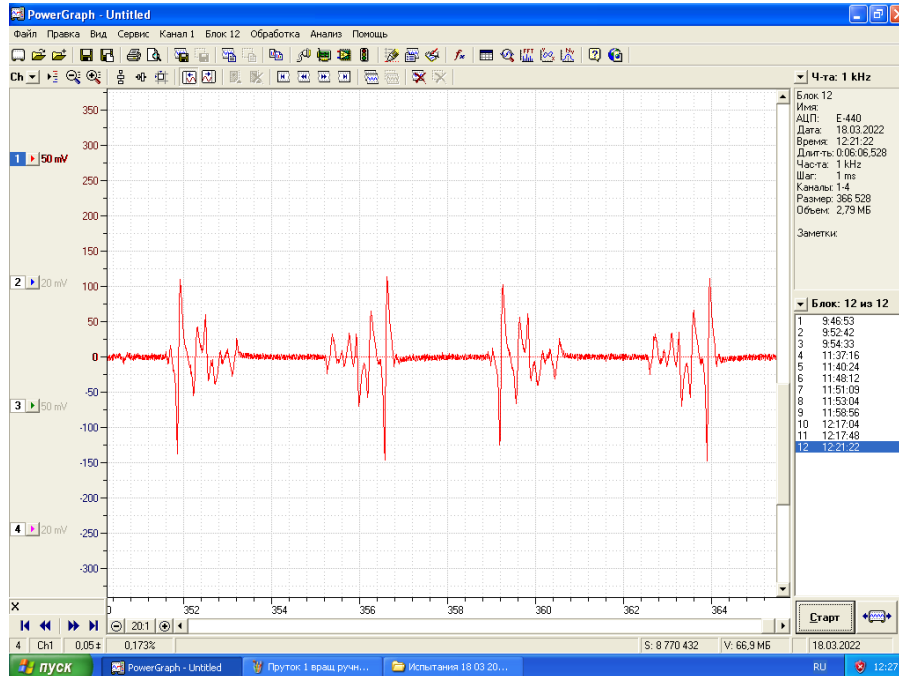


Рисунок 12 - Дефектограмма дефекта № 8  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.178.12>

*Примечание: при условиях: размагничивание, ток соленоида 7А, перемещение продольное датчик дифференциальный тип Нп зазор пластин датчика 4мм*

## Заклучение

В статье приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на образцах трубной заготовки, с целью изучения возможности обнаружения поверхностных дефектов магнитным методом НК [8]. В работе были решены следующие задачи:

1. На основе анизотропных магниторезистивных датчиков типа АМРД [9] разработана автоматизированная установка, позволяющая считывать топографию магнитных полей рассеяния от дефектов поверхности трубной заготовки. В ее состав входит «роботизированная» система, обеспечивающая плавное перемещение матричных преобразователей вдоль образующей цилиндрического образца с естественными дефектами.

2. В процессе исследований на разработанном оборудовании были выполнены работы по изучению выявляемости естественных поверхностных дефектов, имеющихся на образцах, представленных АО «ЕВРАЗ НТМК».

3. Достигнуты положительные результаты решения проблемы надежного выявления дефектов поверхности трубной заготовки, выпускаемой в соответствии с требованиями ГОСТ 34636-2020 [1].

4. При обработке сигнала с использованием алгоритма, изложенного в работе [10] удалось обеспечить выявление всех видов поверхностных дефектов, недопустимых по НТД с соотношением сигнал/шум не менее 3.

5. Выполнено моделирование экспериментального образца макета установки для магнитной дефектоскопии трубной заготовки при вращательно-поступательном ее перемещении в зоне контроля.

Следует отметить также новизну и повторяемость результатов измерений, которые доказывают возможность применения магнитного метода НК для магнитной дефектоскопии трубных заготовок в технологической линии АО «ЕВРАЗ НТМК».

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», номер госрегистрации 122021000030-1).

## Funding

The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic "Diagnostics", state registration number 122021000030-1).

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## Список литературы / References

1. ГОСТ 34636-2020. Заготовка трубная. Общие технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2020. — 23 с.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов. — Москва: Машиностроение, 1995. — 488 с.
3. Мигущенко Р.П. Теория и практика электромагнитно — акустического контроля. Ч.5. Особенности конструирования и практического применения ЭМА устройств ультразвукового контроля изделий / Р.П. Мигущенко, Г.М. Сучков, О.Н. Петрищев и др. — Планета-принт, 2016. — 230 с.
4. ГОСТ 21014-88 Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности. — Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1990. — 62 с.
5. Васин О.Е. Атлас дефектов. Научно-технический сборник / О.Е. Васин, В.М. Югай, Р.А. Садртдинов и др. — Екатеринбург, 2008. — 56 с.
6. Проектирование, изготовление и поставка установки неразрушающего контроля трубной заготовки в крупносортном цехе АО «ЕВРАЗ НТМК»: техническое задание от 10.06.2019 / ЕВРАЗ НТМК.
7. Булычев О.А. Многоканальная магниторезистивная система магнитного контроля бесшовных толстостенных труб / О.А. Булычев, С.А. Шлеенков, А.С. Шлеенков // Дефектоскопия. — 2018. — Т. 10. — С. 58-63.
8. Ферстер Ф. Неразрушающий контроль методом магнитных полей рассеяния. Теоретические и экспериментальные основы выявленных поверхностных дефектов конечной и бесконечной глубины / Ф. Ферстер // Дефектоскопия. — 1982. — № 11. — С. 3-25.
9. Shleenkov A.S. Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes / A.S. Shleenkov, O.A. Bulychev, S.A. Shleenkov et al. // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — Vol. 56. — P. 417-425.
10. Shleenkov A.S. Signal processing algorithms for increasing the resolution of magnetic flaw detection of rolled steel / A.S. Shleenkov, A.B. Pastukhov, Ya.V. Gubanov // AIP Conference Proceedings. — 2020. — Vol. 2313. — P. 40010-40015.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 34636-2020. Zagotovka trubnaja. Obshhie tehicheskie uslovija [The billet is tubular. General technical conditions]. — Moscow: Standartinform, 2020. — 23 p. [in Russian]
2. Kljuev V.V. Nerazrushajushij kontrol' i diagnostika. Spravochnik [Non-destructive testing and diagnostics. Guide] / V.V. Kljuev, F.R. Sosnin, V.N. Filinov. — Moscow: Mashinostroenie, 1995. — 488 p. [in Russian]



3. Migushhenko R.P. Teorija i praktika jelektromagnitno — akusticheskogo kontrolja. Ch.5. Osobnostikonstruirovaniya i prakticheskogo primenenija JeMA ustrojstv ul'trazvukovogo kontrolja izdelij [Theory and practice of electromagnetic — acoustic control. Part 5. Features of the design and practical application of EMA devices for ultrasonic control of products] / R.P. Migushhenko, G.M. Suchkov, O.N. Petrishhev et al. — Planeta-print, 2016. — 230 p. [in Russian]
4. GOST 21014-88 Prokat chernyh metallov. Terminy i opredelenija defektov poverhnosti [Rolled ferrous metals. Terms and definitions of surface defects]. — Moscow: USSR State Committee on Standards, 1990. — 62 p. [in Russian]
5. Vasin O.E. Atlas defektov. Nauchno-tehnicheskij sbornik [Atlas of defects, Scientific and technical collection] / O.E. Vasin, V.M. Jugaj, R.A. Sadrtidinov et al. — Ekaterinburg, 2008. — 56 p. [in Russian]
6. Proektirovanie, izgotovlenie i postavka ustanovki nerazrushajushhego kontrolja trubnoj zagotovki v krupnosortnom cehe AO «EVRAZ NTMK» [Design, manufacture and delivery of a non-destructive testing installation of a pipe billet in a large-grade workshop of JSC EVRAZ NTMK]: Technical specification dated 10.06.2019 / EVRAZ NTMK. [in Russian]
7. Bulychev O.A. Mnogokanal'naja magniterezistivnaja sistema magnitnogo kontrolja besshovnyh tolstostennyh trub [Multichannel magnetoresistive magnetic control system for seamless thick-walled pipes] / O.A. Bulychev, S.A. Shleenkov, A.S. Shleenkov // Defektoskopija [Defectoscopy]. — 2018. — Vol. 10. — P. 58-63. [in Russian]
8. Ferster F. Nerazrushajushhij kontrol' metodom magnitnyh polej rassejaniya. Teoreticheskie i jeksperimental'nye osnovy vyjavlennyh poverhnostej defektov konechnoj i beskonechnoj glubiny [Non-destructive testing by the method of magnetic scattering fields. Theoretical and experimental foundations of the revealed surfaces of defects of finite and infinite depth] / F. Ferster // Defektoskopija [Defectoscopy]. — 1982. — № 11. — P. 3-25. [in Russian]
9. Shleenkov A.S. Features and Advantages of Applying Anisotropic Magnetoresistive Field Sensors to Testing the Full Volume of Small- and Medium-Diameter Pipes / A.S. Shleenkov, O.A. Bulychev, S.A. Shleenkov et al. // Russian journal of nondestructive testing. — 2020. — Vol. 56. — P. 417-425.
10. Shleenkov A.S. Signal processing algorithms for increasing the resolution of magnetic flaw detection of rolled steel / A.S. Shleenkov, A.B. Pastukhov, Ya.V. Gubanov // AIP Conference Proceedings. — 2020. — Vol. 2313. — P. 40010-40015.