

Мараховский Даниил Алексеевич, бакалавр  
Уфимский университет науки и технологий  
Marakhovskiy Daniil Alekseevich  
Ufa University of Science and Technology

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ MODERN METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDED JOINTS IN METAL STRUCTURES

**Аннотация.** Рассмотрены основные методы неразрушающего контроля сварных соединений металлических конструкций. Проанализированы визуальный, капиллярный, магнитопорошковый, радиографический и ультразвуковой методы, область их применения и ограничения. Показана необходимость комплексного выбора технологии контроля с учетом материала, толщины соединения, вероятного типа дефекта и требований к приемке.

**Abstract.** The main non-destructive testing methods for welded joints in metal structures are considered. Visual, penetrant, magnetic particle, radiographic and ultrasonic testing are analyzed with regard to their application areas and limitations. The need for a combined inspection strategy based on material, joint thickness, expected defect type and acceptance requirements is shown.

**Ключевые слова:** Неразрушающий контроль, сварное соединение, ультразвуковой контроль, радиографический контроль, дефект, металлическая конструкция.

**Keywords:** Non-destructive testing, welded joint, ultrasonic testing, radiographic testing, defect, metal structure.

### Введение

Сварные соединения широко применяются в строительных, транспортных, энергетических и машиностроительных конструкциях. Их надежность определяется не только свойствами основного и присадочного материалов, но и стабильностью технологического процесса сварки. Отклонение режима, загрязнение кромок, нарушение защиты сварочной ванны, неправильная подготовка соединения и высокие термические напряжения способны привести к образованию несплошностей. К ним относятся трещины, непровары, несплавления, поры, шлаковые включения и подрезы. Часть дефектов обнаруживается на поверхности, тогда как внутренние несплошности могут оставаться невидимыми при обычном осмотре.

Неразрушающий контроль позволяет оценивать состояние сварного соединения без вырезки образцов и нарушения пригодности изделия к дальнейшей эксплуатации. Общие правила выбора методов контроля металлических сварных соединений задаются стандартами, в которых выбор процедуры связывается с типом соединения, материалом, толщиной, уровнем качества и ожидаемыми несовершенствами [1]. Цель статьи – систематизировать основные методы неразрушающего контроля сварных соединений и показать, почему надежная оценка качества обычно требует не одного универсального способа, а рационального сочетания нескольких методов.

### Визуальный и поверхностные методы контроля

Первым этапом проверки сварного соединения является визуальный и измерительный контроль. Он позволяет обнаружить нарушение геометрии шва, подрезы, прожоги, поверхностные трещины, неполное заполнение разделки и другие видимые отклонения. Достоинство метода состоит в высокой оперативности и минимальной стоимости. При этом результат зависит от качества подготовки поверхности, освещения, доступности зоны осмотра и квалификации специалиста. Визуальный контроль не дает информации о внутренних дефектах и поэтому служит обязательной, но не исчерпывающей стадией проверки.



Для выявления мелких дефектов, открытых на поверхность, применяется капиллярный метод. На очищенную поверхность наносится проникающая жидкость, которая заполняет устья несплошностей. После удаления излишков и нанесения проявителя дефект становится заметным за счет выхода пенетранта на поверхность. Общие принципы капиллярного контроля определены ISO 3452-1:2021 [6]. Метод применим к широкому кругу непористых материалов, однако не показывает дефекты, не сообщающиеся с поверхностью, и требует тщательной предварительной очистки.

Для ферромагнитных сталей эффективен магнитопорошковый контроль. При намагничивании детали в зоне поверхностной или близкой к поверхности несплошности формируется поле рассеяния, которое концентрирует магнитные частицы и создает заметную индикацию. Метод особенно чувствителен к трещинам и другим вытянутым дефектам, но его применимость ограничена ферромагнитными материалами. Международные документы отдельно регламентируют технологию магнитопорошкового контроля и уровни приемки индикаций [4, 5]. Поэтому интерпретация результата должна учитывать не только наличие индикации, но и ее размеры, форму и ориентацию.

### **Радиографический контроль внутренних дефектов**

Радиографический контроль основан на различии ослабления ионизирующего излучения в металле и в областях с нарушенной сплошностью. Рентгеновское или гамма-излучение проходит через сварное соединение и формирует изображение на пленке либо цифровом детекторе. Поры, объемные включения и ряд других дефектов изменяют локальную толщину и плотность материала на пути луча, поэтому становятся видимыми на радиографическом изображении. Требования к пленочной радиографии сварных соединений приведены в ISO 17636-1:2022 [3].

К преимуществам радиографии относится наглядность результата и возможность его документирования. Снимок можно повторно анализировать, передавать другому специалисту и хранить в составе технической документации. Вместе с тем чувствительность зависит от ориентации дефекта относительно пучка. Тонкая плоская несплошность, расположенная неблагоприятно, может давать слабое изменение поглощения. Кроме того, радиографический контроль связан с требованиями радиационной безопасности, организацией защищенной зоны и ограничениями по доступу к обеим сторонам изделия. По этой причине метод особенно целесообразен там, где необходимо надежно выявлять объемные внутренние дефекты и получать сохраняемое изображение.

### **Ультразвуковой контроль сварных соединений**

Ультразвуковой контроль использует распространение упругих волн в металле и регистрацию отражений от границ раздела. Для проверки сварных соединений применяются прямые и наклонные преобразователи, позволяющие вводить волну под выбранным углом и исследовать объем шва и околошовной зоны. ISO 17640:2018 устанавливает техники, уровни контроля и подходы к оценке при ручном ультразвуковом контроле сварных соединений [2]. При правильно выбранной схеме прозвучивания метод способен выявлять плоские дефекты, включая несплавления и трещины, которые критичны с точки зрения прочности.

Существенным преимуществом ультразвука является возможность одностороннего доступа, высокая оперативность и отсутствие ионизирующего излучения. Прибор может не только фиксировать наличие отражателя, но и оценивать его условное положение и протяженность. Ограничения связаны с геометрией изделия, структурой материала, состоянием поверхности и необходимостью интерпретации сигналов. Зернистые и анизотропные материалы увеличивают рассеяние, а сложная форма соединения создает дополнительные отражения. Поэтому настройка чувствительности, применение эталонных образцов и квалификация оператора напрямую влияют на достоверность контроля.



### **Комплексирование методов и организация контроля**

Ни один метод не обеспечивает одинаковую вероятность обнаружения всех типов дефектов. Поверхностная трещина может надежно выявляться капиллярным или магнитопорошковым способом, тогда как внутреннее несплавление рациональнее искать ультразвуком. Объемная пористость хорошо отображается радиографически, но отдельные плоские дефекты могут потребовать ультразвуковой проверки. Следовательно, схема контроля должна формироваться от вероятных механизмов дефектообразования, а не от наличия конкретного прибора.

Практически последовательность может строиться следующим образом. Сначала выполняется визуальная проверка геометрии и состояния поверхности. Затем, если материал и условия требуют повышенной чувствительности к поверхностным трещинам, применяется капиллярный либо магнитопорошковый метод. Для внутренних дефектов выбирается радиографический, ультразвуковой или комбинированный контроль. Объем и уровень проверки должны быть связаны с ответственностью конструкции и нормативными критериями приемки. Квалификация персонала также является самостоятельным фактором качества: ISO 9712:2021 устанавливает требования к квалификации и сертификации специалистов по промышленному неразрушающему контролю [7].

При серийном производстве важна прослеживаемость: для соединения фиксируют способ контроля, настройки оборудования, исполнителя и результат. Повторяемость одинаковых дефектов позволяет использовать данные контроля как обратную связь для корректировки подготовки кромок и режима сварки.

### **Заключение**

Неразрушающий контроль сварных соединений представляет систему взаимодополняющих методов. Визуальный осмотр оценивает форму и поверхность, капиллярный и магнитопорошковый методы выявляют поверхностные несплошности, радиография эффективна для ряда внутренних объемных дефектов, а ультразвук – для исследования объема и опасных плоских отражателей. Выбор должен учитывать материал, толщину, геометрию и критерии приемки. Надежность повышается при регламентированной процедуре, квалифицированном персонале и сочетании методов по их физическим возможностям.

### **Список литературы:**

1. ISO 17635:2025. Non-destructive testing of welds – General rules for metallic materials.
2. ISO 17640:2018. Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Techniques, testing levels, and assessment.
3. ISO 17636-1:2022. Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 1: X- and gamma-ray techniques with film.
4. ISO 17638:2016. Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing.
5. ISO 23278:2015. Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing – Acceptance levels.
6. ISO 3452-1:2021. Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 1: General principles.
7. ISO 9712:2021. Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel

