

УДК 620.192

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП) АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Павел Николаевич Кузнецов

кандидат технических наук, доцент

pank-77@mail.ru

Надежда Александровна Кабакова

старший преподаватель

colibri68k@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Транспортные отрасли обязаны решать проблемы, связанные с повышенным вниманием к энергосбережению и экологически чистым продуктам. Сварка трением с перемешиванием (СТП) является одной из современных технологий формирования сварных соединений, обладающей множеством преимуществ, особенно для алюминиевых сплавов. Однако, несмотря на свою эффективность, данный метод также подвержен образованию дефектов, что может значительно повлиять на характеристики готовых изделий. В этой статье мы рассмотрим основные типы дефектов сварных швов, возникающих при использовании СТП, и способы их предотвращения.

Ключевые слова: дефекты, сварные швы, алюминиевый сплав, трение.

Одной из современных технологий формирования сварных соединений, обладающей множеством преимуществ является сварка трением с перемешиванием (СТП), особенно для алюминиевых сплавов.

Процесс сварки трением с перемешиванием последовательно включает в себя предварительный нагрев, начальную деформацию, экструзию, ковку и металлургические этапы охлаждения. На рисунке 1 показана схема сварки трением. Процесс сварки начинается, когда тепло трения, возникающее между валиком и поверхностью свариваемого материала, размягчает материал, что приводит к сильной пластической деформации. Материал перемещается от передней части инструмента к задней кромке, где он формируется в шов. Таким образом, процесс сварки трением с перемешиванием представляет собой деформацию и термический процесс, происходящий в твёрдом состоянии [1]; он использует тепло трения и деформационный источник тепла для соединения металла под действием приложенной нормальной силы. Как видно на рис. 1, сторона пластины, в которой направление вращения совпадает с направлением сварки, является передней стороной, а другая сторона — задней.

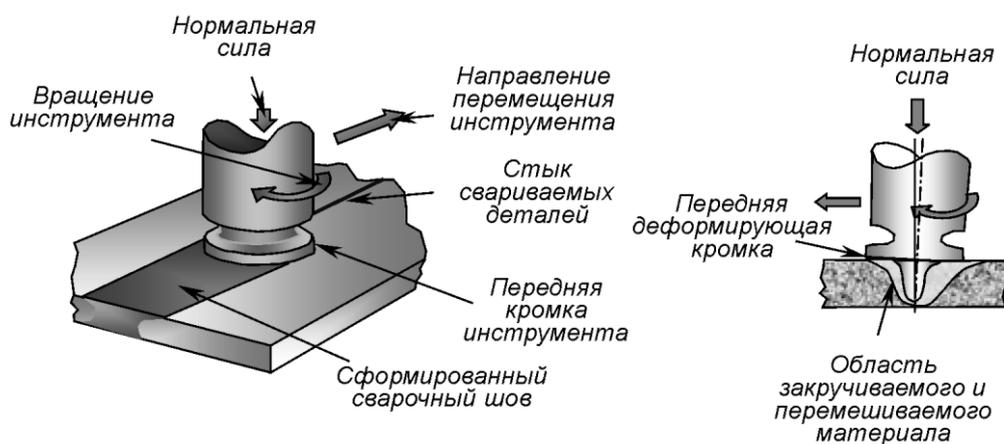


Рисунок 1 - Схема процесса сварки трением с перемешиванием [1].

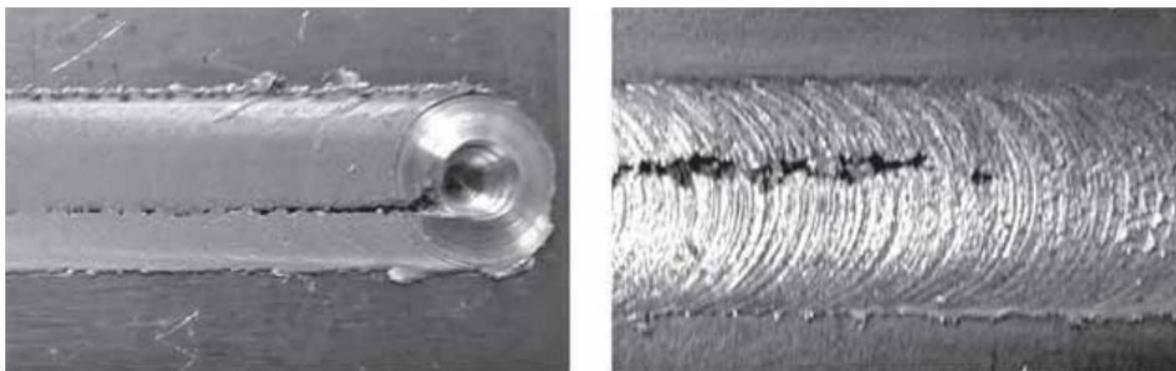
Однако, несмотря на свою эффективность, данный способ также подвержен образованию дефектов, что может значительно повлиять на характеристики готовых изделий.

Дефекты сварных швов при сварке трением с перемешиванием (СТП) алюминиевых сплавов являются важной проблемой, требующей тщательного анализа и понимания механизмов, влияющих на качество соединений.

Перечень характерных дефектов сварных швов при СТП алюминиевых сплавов представлены ниже.

1. Несплавление на наружной поверхности (протяженные и локальные)

Недостаточная доварка или неправильный выбор параметров может привести к неполной спайке между соединяемыми элементами, что может вызвать образование несоответствий в структуре материала. Это может существенно снизить прочность шва и его устойчивость к внешним воздействиям.



а)

б)

Рисунок 2 - Внешние дефекты швов: протяженные (а), локальные несплавления (б) [2].

2. Несплавление в корневой части шва

Несплавления в корневой части шва могут образовываться в процессе сварки из-за присутствия газов в области сварного соединения. Это приводит к образованию пустот, которые снижают прочность и коррозионную стойкость соединения. В алюминиевых сплавах, подверженных негативному воздействию влаги и кислорода, их риск образования особенно велик.

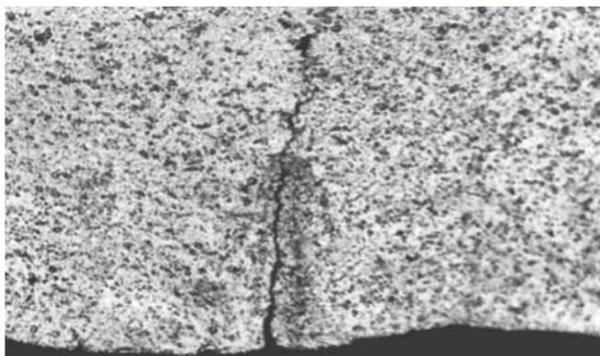


Рисунок 3 - Несплавление в корневой части шва [2].

3. Несплошность шва (кратеры, рыхлота)

Кратеры представляют собой впадины, образующиеся в конце процесса сварки. Они могут привести к локальным напряжениям в металле и, как следствие, к дальнейшим трещинам. Этот дефект часто возникает из-за недостаточного контроля за параметрами сварки, такими как скорость вращения и давление инструмента.

Рыхлота возникает в швах при перегреве сплава при недостаточном тепловыделении для пластификации сплава в зоне сварки.

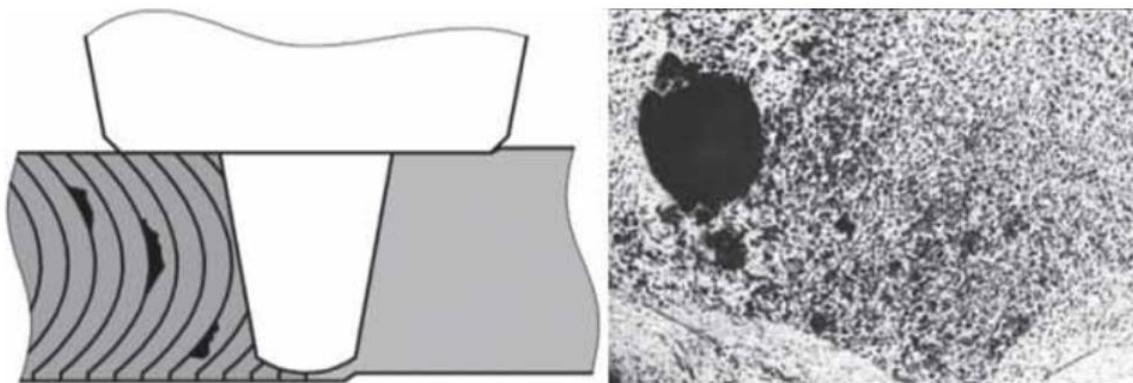


Рисунок 4 - Схема образования (а) и дефект в виде рыхлоты (б) в микроструктуре шва [2].

4. Перегрев материала на наружной поверхности (крупнозернистая структура)

Крупнозернистая структура происходит из-за перегрева материала в процессе сварки. Это может привести к снижению механических свойств металла, а также к потере коррозионной стойкости. В алюминиевых сплавах, которых обычно используют в конструкциях, подобные изменения критически важны.

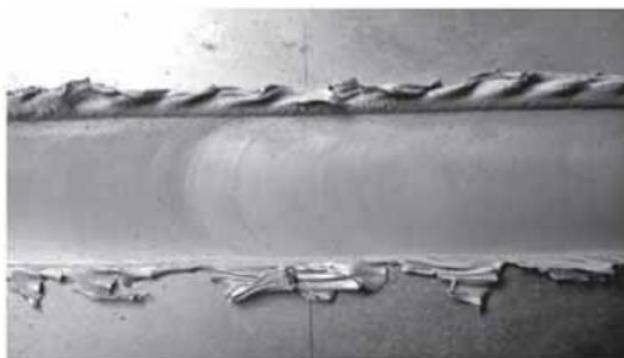


Рисунок 5 - Перегрев металла на лицевой поверхности шва [2].

Перечень причин возникновения дефектов сварных швов при СТП алюминиевых сплавов представлены ниже.

- Недостаток подготовки поверхности – Некачественная очистка детали перед сваркой может привести к загрязнению, что непосредственно влияет на качество шва.
- Некорректные параметры сварки – Неверно выставленные скорость вращения, давление и температура могут вызвать как перегрев, так и недостаточное перемешивание металлов.
- Проблемы с оборудованием – Некорректная работа сварочного оборудования может также привести к образованию дефектов.

Недостаточная сцепка между слоями металла часто обусловлена неправильными параметрами процесса, такими как скорость вращения инструмента, давление и температура. Эти факторы существенно влияют на пластическую деформацию и перемешивание материалов, что критически важно для образования прочного соединения.

Способы предотвращения дефектов

Для минимизации рисков образования дефектов важно придерживаться следующих рекомендаций:

- Подготовка поверхности: Обеспечьте надлежащую очистку и подготовку соединяемых поверхностей. Это может включать механическую или химическую обработку для удаления оксидов и загрязнений.
- Оптимизация параметров процесса: Подбор правильных настроек для сварочного оборудования, таких как скорость вращения и давление, а также обеспечение однородного нагрева, поможет избежать перегревов и недоварок.
- Контроль качества: Регулярная проверка готовых сварных швов на наличие дефектов с использованием методов неразрушающего контроля позволит своевременно выявлять проблемы и принимать меры.

Для минимизации дефектов [3] необходимо проведение тщательного контроля и оптимизации всех процессов сварки. Использование современных технологий, таких как автоматизация контроля качества и применение новейших

сварочных материалов, позволяет значительно повысить надёжность [4, 5] и долговечность сварных швов, обеспечивая высокие эксплуатационные характеристики изделий из алюминиевых сплавов.

Кроме того, важно отметить, что влияние параметров сварки на качество шва не ограничивается только механическими аспектами. Химический состав используемых алюминиевых сплавов также играет значительную роль. Например, содержание легирующих элементов может изменять температурные характеристики и текучесть металла, что, в свою очередь, влияет на процесс перемешивания при сварке трением. Таким образом, правильный выбор сплава и соответствующий контроль его состава являются важными этапами для предотвращения дефектов.

Заключение

Сварка трением с перемешиванием – это мощный инструмент в арсенале современных технологий соединения материалов, особенно алюминиевых сплавов. Понимание и предотвращение дефектов сварных швов является ключевым аспектом успешного применения этой технологии. Соблюдение рекомендаций по подготовке, контролю параметров и качеству может значительно улучшить результаты сварки и повысить надёжность получаемых изделий.

Для дальнейшего улучшения качества сварных соединений следует обратить внимание на разработку специализированных флюсов и присадочных материалов, которые могут уменьшать окисление и загрязнение поверхности. Эти элементы технологического процесса способны повысить адгезию между слоями и снизить вероятность возникновения трещин и пор.

Одним из подходов к повышению надёжности сварных швов является внедрение системы мониторинга в реальном времени. Это позволит быстро адаптировать параметры сварки в процессе и минимизировать влияние потенциальных факторов, способствующих образованию дефектов. Таким образом, комплексный анализ и оптимизация всех аспектов сварочного процесса

станут залогом успешного получения высококачественных соединений из алюминиевых сплавов.

Список литературы:

1. Investigation of weld defects in friction-stirwelding and fusion welding of aluminium alloys. Paul Kah*, Richard Rajan, Jukka Martikainen and Raimo Suoranta. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (2015) / CORE – URL: <https://core.ac.uk/reader/81088930>

2. Дриц А. М., Овчинников В. В., Резцов Р. Б. Дефекты, возникающие при сварке трением с перемешиванием алюминиевых сплавов системы Al–Mg, и способы их устранения // Технология легких сплавов. 2022. №4.

3. Матвеев А. А., Хатунцев В. В., Кузнецов П. Н. Определение дефектов материалов различных деталей сельскохозяйственных машин // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. EDN QZNEMN.

4. Надежность технических систем: Учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия / П. Н. Кузнецов, В. В. Хатунцев, И. П. Криволапов, С. Ю. Астапов. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга". 2022. 218 с. ISBN 978-5-907586-26-0. EDN EIUAEY.

5. Практикум надёжность технических систем / Кузнецов П.Н. и др. / Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет. 2020. 79 с. EDN UTHUYE.

UDC 620.192

**DEFECTS OF FRICTION-STIR WELDING (FSW) OF ALUMINUM
ALLOYS**

Pavel N. Kuznetsov

candidate of technical sciences, associate professor

pank-77@mail.ru

Nadezhda Al. Kabakova

senior lecturer

colibri68k@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The transportation industries are obliged to address the increased focus on energy efficiency and environmentally friendly products. Friction stir welding (FSW) is one of the modern welds forming techniques with many advantages, especially for aluminum alloys. However, despite its effectiveness, this method is also prone to defect formation, which can significantly affect the performance of finished products. In this article, we will review the main types of weld defects that occur when using STP and ways to prevent them.

Key words: defects, welds, aluminum alloy, friction.

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 20.12.2024; принята к публикации 25.12.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 20.12.2024; accepted for publication 25.12.2024.