

К.Т. Шеров^{1*}, Т.Г. Насад², Н.Б. Абишева³,
А.Б. Есиркепова³, А.Б. Ержанова¹, К.И. Имашева³

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

²Саратовский государственный технический университет им. Ю. Гагарина, Саратов, Россия

³Казахандинский технический университет им. А. Сагинова, Караганда, Казахстан

(E-mail: shkt1965@mail.ru, tgnas@mail.ru, batyrbekovna.nazerke@gmail.com, bopany@mail.ru, erjanova_akbota@mail.ru, imasheva-gulzhan@mail.ru)

Исследование технологической возможности способа сварки трением разнородных материалов

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования зарубежных ученых по изучению технологической возможности способа сварки трением разнородных материалов, а также информация о научно-исследовательских работах авторов по созданию ресурсосберегающей, универсальной и доступной технологии сварки трением разнородных материалов для отечественных машиностроительных производств. Результаты исследования работ зарубежных ученых показали, что способ сварки трением разнородных материалов является актуальным и обладает широкой технологической возможностью. Также выявлено, что данный способ в условиях отечественных машиностроительных производств не применяется. Установлены предполагаемые причины такого состояния проблемы. Учитывая все недостатки и факторы, выявленные в ходе исследования существующих способов сварки трением разнородных материалов, авторы проводят научные исследования, направленные на создание новой разновидности данного способа. Для реализации способа сварки трением разработана конструкция специального устройства и изготовлен опытный образец для проведения экспериментальных исследований. Описаны процессы сварки трением арматурных стержней разных диаметров. Сообщено о том, что соединенные арматурные стержни прошли испытания на растяжение и разрыв в лабораторных условиях и в сертифицированном испытательном центре, результаты которых показали высокую прочность соединения. Разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

Ключевые слова: сварка трением, разнородные материалы, разновидности сварки трением, прочность, растяжение, разрыв, арматурные стержни.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-63-73

Введение

Сварка трением - широко используемый метод сварки в твердом состоянии для соединения сходных или разнородных металлов. Сварка трением требует быстрого вращения одного компонента при высоких оборотах в минуту, а другой компонент приводится в соприкосновение при высоком давленииковки, чтобы деформироваться. Две детали вращаются в контакте, и в плоскости трения выделяется тепло, необходимое для сварки [1].

На рисунке 1 показаны разновидности сварки трением.



Рисунок 1. Разновидности сварки трением

Рассмотрим характеристику разновидностей сварки трением [1,2].

Линейная сварка трением. Как следует из названия, относительное перемещение между двумя компонентами по поверхности раздела является линейным в этой форме процесса сварки трением. Компоненты необходимо постоянно держать под давлением, поскольку при линейной сварке трением скорости значительно ниже.

Ротационная сварка трением. Ротационная сварка трением, также известная как спиновая сварка. Это наиболее часто используемый процесс среди всех других типов сварки трением, при котором один компонент вращается относительно другого, который неподвижен, для выработки необходимого тепла для процесса.

Сварка трением с прямым приводом. Также известный как непрерывный привод, патрон постоянно приводится в движение приводным двигателем на этапах нагрева. Затем прикладывается соответствующее кузнечное давление и достигается сварка.

Инерционная сварка трением. Процесс аналогичен сварке трением с прямым приводом, но, кроме того, в этом типе сварки дополнительно используется маховик. Необходимая кинетическая энергия накапливается при вращении маховика до фиксированной частоты вращения. Затем привод отсоединяется, а кинетическая энергия передается на вращающуюся деталь. Таким образом, необходимая энергия для сварки деталей обеспечивается кинетической энергией машины, которая накапливается во вращающейся системе.

Сварка трением с перемешиванием. Требуемое пластифицированное состояние материала достигается другим способом при сварке трением с перемешиванием. Неплавящийся вращающийся инструмент, представляющий собой штифт или шуп, прижимается к свариваемым деталям под давлением. Пластически деформированный материал образуется из-за трения между инструментом и материалами, с которыми он контактирует. Когда инструмент движется вдоль линии соединения, он механически перемешивает два материала, и приложенное механическое давление куёт горячий и размягченный металл.

Фрикционная наплавка. Это технология, полученная в результате сварки трением для нанесения слоя материала покрытия на заготовку с целью улучшения свойств, лежащей под ней металлической поверхности. Твердый расходный стержень втирается под давлением в поверхность основного материала для получения покрытия. На краю расходного стержня образуется пластифицированный слой, в результате чего расходный материал осаждается на материал.

Для определения степени изученности и технологической возможности технологии сварки трением разнородных материалов исследуем работы зарубежных ученых.

В работе [3] исследовано соединение разнородного металла титана (Ti) с нержавеющей сталью 304L (SS), который имеет важное значение в ядерной промышленности для растворения

отработанного топлива.

Выявлено, что сварка трением титана Ti с нержавеющей сталью 304L приводит к более прочному сварному шву, в котором происходит разрушение основного металла титана во время испытаний на растяжение. Однако соединения обладают почти нулевой пластичностью при изгибе, что объясняется образованием интерметаллидов из-за механического легирования, деформационного упрочнения Ti вблизи границы раздела соединений и остаточных напряжений. Подробно описаны результаты механического испытания, анализа микроструктуры с использованием оптической и сканирующей электронной микроскопии.

В работе [4] выполнены экспериментальные исследования по соединению разнородных материалов, а именно: аустенитной нержавеющей стали (AISI 304 L) и меди. Были соединены образцы диаметром 24 мм и длиной 75 мм.

Для определения прочности сварного соединения проведено испытание на растяжение и определена твердость в основном металле и в зоне термического влияния. Отмечено, что в области соединения образовался интерметаллический слой из-за высокого времени трения, который способствовал уменьшению прочности связи между металлами. Однако при этом установлено, что прочность сварного соединения на растяжение выше, чем у исходного материала из меди на 2,52%.

В работе [5] разработана и изготовлена экспериментальная установка для сварки трением заготовок одинакового диаметра. Установка была спроектирована как непрерывный привод, и переход от стадии трения к стадии ковки может осуществляться автоматически. В экспериментах использовалась быстрорежущая сталь (HSS-S 6-5 2) и среднеуглеродистая сталь (AISI 1040). Соединения подвергались послесварочному отжигу при 650°C в течение 4 ч. Установлены оптимальные параметры сварки для соединений. Прочность соединений определена путем испытаний на растяжение, усталость и ударную вязкость, а результаты были сопоставлены с прочностью материалов на растяжение. Также приводятся результаты исследования изменения твердости и микроструктуры в послесварочных соединениях.

В работе [6] исследовано сварное соединение трением между алюминиевым сплавом 6061-T6 и сталью AISI 1018. Для создания соединения между этими двумя материалами использована инерционная сварка трением. В экспериментах использовались стержни диаметром 12,5 мм, и стержни были обрезаны соответственно длине, подходящей для инерционной сварки трением. В ходе экспериментов менялось только давление ковки и была получена максимальная прочность 250 МПа для более высокого значения давления ковки. Выявлено, что более высокое давление ковки является выгодным для улучшения прочности соединения. Установлены оптимальные режимы: скорость вращения - 4200 оборотов в минуту, давление трения - 23 МПа, время трения - 1 секунда, время ковки - 5 секунд, давление ковки - 60 МПа.

В работе [7] с использованием схемы экспериментов Тагучи проведены исследования процесса сварки трением алюминиевого сплава 6082 T6 и меди. Для соединения использованы образцы диаметром 12 мм. Были изменены три параметра, а именно: давление трения, давление опрокидывания и время трения. Выявлено, что давление опрокидывания оказывает основное влияние на прочность соединения, за которым следуют время трения и давление трения. Было обнаружено, что оптимальными условиями являются давление трения и давление опрокидывания (43.6 МПа), время трения (50 секунд) и время опрокидывания (2 секунды).

В работе [8] исследован процесс сварки трением двух разнородных материалов - мягкой стали и алюминия. При сварке один из стержней закрепляется неподвижно, второй вращается под воздействием осевой нагрузки и создает тепло от трения на границе раздела.

В исследовании дана оценка механическим свойствам сварных стержней из мягкой стали и алюминия, чтобы понять тепловые эффекты. Был использован явный одномерный метод конечных разностей для аппроксимации распределения температур нагрева и охлаждения соединения. Обнаружено, что тепловые эффекты сварки трением привели к снижению твердости свариваемых материалов по сравнению с исходными материалами. Прочность на растяжение

сварных стержней ниже, чем у исходных стержней, из-за неполной сварки. Предварительные прогнозы были сопоставлены с фактическими данными термодары по сварным швам, выполненным в идентичных условиях, и было показано, что они хорошо согласуются. Метод конечных разностей, предложенный в этой работе, послужит руководством при разработке параметров сварного шва и позволит лучше понять процесс сварки трением.

В работе [9] рассмотрены свойства сварного соединения трением аустенитной нержавеющей стали 304 и среднеуглеродистой стали AISI 1040 и проведено сравнение свойств сварного шва с прослойкой и без нее при различных параметрах сварки.

Максимальная прочность была достигнута, когда в качестве промежуточного слоя использовался никель, что уменьшало образование интерметаллического соединения на границе раздела сварных швов. Оптимальными условиями были частота вращения (2200 об/мин), давление опрокидывания (1570 тонн) и длина прожига (8 мм).

В работе [10] исследован процесс сварки трением разнородных материалов низкоуглеродистой стали с нержавеющей сталью. Изучено изменение механических свойств при различных режимах сварки трением соединений низкоуглеродистой стали с нержавеющей сталью. Представлена информация о пределе текучести, пределе прочности при растяжении, процентном удлинении сварных соединений и изменениях твердости на границе раздела сварных швов. При исследовании качества сварных швов использована оптическая микроскопия и сканирующая электронная микроскопия.

В работе [11] проведено исследование способа сварки трением при соединении алюминия H30 и мягкой стали BS970. Используются образцы диаметром 8 мм и длиной 200 мм. Время выдержки и давление выдержки варьировались, сохраняя другие параметры процесса постоянными. Между образцами были сформированы четыре сварных соединения. Результаты исследования показали, что, когда время высадки и давление высадки были дополнительно увеличены сверх оптимального уровня, прочность соединения уменьшается и в конце концов разрушается. Определены оптимальные режимы сварки трением, которые составляли 200 МПа (давление опрокидывания) и 6 секунд (времяковки). Это было связано с тем, что между двумя материалами не было элементарной связи из-за высокого давленияковки.

В работе [12] исследован процесс соединения AA6061 и AISI 4340 посредством сварки трением с непрерывным приводом. Качество сварных швов определено с помощью металлографического исследования, рентгеноструктурного анализа, электронно-зондового микроанализа, испытаний на растяжение и микротвердости.

В эксперименте инициирована низкая длина выгорания, чтобы снизить подвод тепла, что приводит к сокращению времени для образования интерметаллидов. На стороне AISI 4340 был нанесен гальванический слой серебра толщиной 20 мкм. Установлено, что наличие серебряной прослойки повышает прочность и пластичность соединений.

Максимальный предел прочности при растяжении 240 МПа при относительном удлинении 4,9 % был получен для межслойных серебряных сварных швов из разнородных металлов.

В работе [13] приводятся результаты исследования сварного соединения трением между алюминиевым сплавом и мягкой сталью. Используются образцы диаметром 12 мм и длиной 75 мм. Эксперименты по сварке трением выполнялись на вертикально фрезерном станке, и в общей сложности было изготовлено восемь соединений путем изменения скорости вращения, длины выгорания и времени трения. Максимальная прочность была достигнута в образце, где все параметры имели более высокое значение. Было обнаружено, что длина выгорания и время трения в большей степени влияют на изменение прочности соединения, чем скорость вращения, которая, как было обнаружено, оказывает очень незначительное влияние на значения прочности при растяжении. Оптимальными условиями были: частота вращения - 1800 об / мин, длина прожига - 2,5 мм, время сварки - 30 секунд.

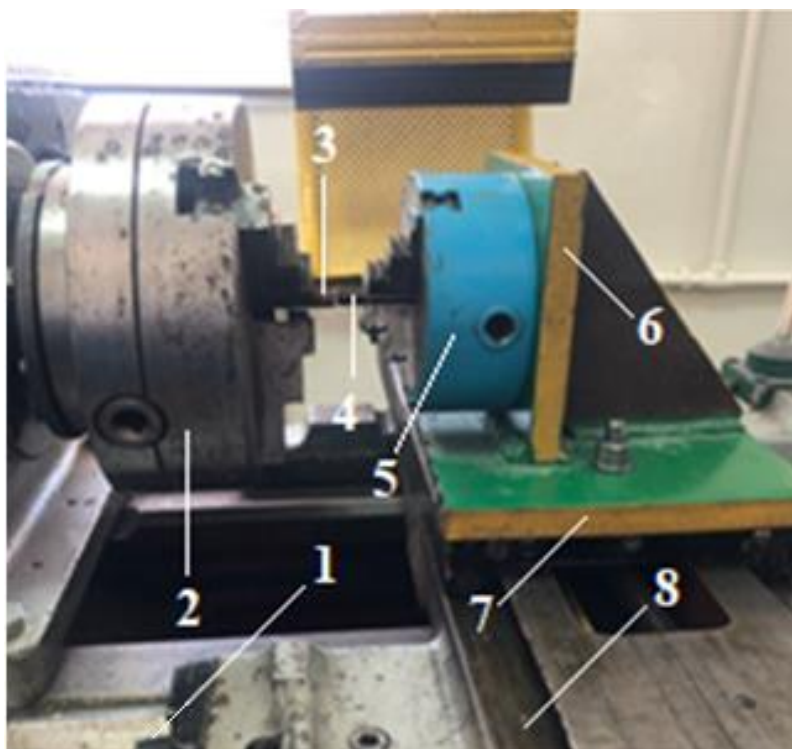
В работе [14] оценили прочность сваренных трением разнородных материалов Al 6061-T6 и AISI 304 с серебряной прослойкой или без нее. Ударный слой никеля сначала был нанесен на подложку из нержавеющей стали, которая затем была покрыта гальваническим покрытием с серебряными прослойками. Никелевый удар служил основой для последующего серебряного покрытия. Эксперимент проводился с изменяющимся давлением трения и другими параметрами, которые считались постоянными. Наибольшая прочность на разрыв была получена в сварных швах трением, где в качестве промежуточного слоя использовалось серебро, и прочность, как правило, увеличивается с увеличением значений давления трения.

Проведенные исследования показали, что рассматриваемый способ сварки трением широко исследуется зарубежными учеными и имеет актуальность для производства. Однако способ сварки трением в условиях машиностроительных заводов Республики Казахстан не нашел применения. Причиной этому могут быть следующие факторы: малоизученность способа сварки трением; отсутствие производства серийного (или массового) характера; нецелесообразность приобретения оборудования для сварки трением из-за высокой стоимости [15].

Основная часть

Для условий производств РК необходима разработка технологии сварки трением разнородных материалов отличающейся от существующих высоким качеством и производительностью, универсальностью, низкой себестоимостью, при этом конструкция используемого оборудования должна быть несложной и удобной в управлении.

Учитывая все недостатки и факторы, выявленные в ходе исследования существующих способов сварки трением разнородных материалов, авторами выполняются научные исследования, направленные на создание нового способа сварки трением разнородных материалов. Для реализации способа сварки трением разработана конструкция специального устройства [16] и изготовлен опытный образец для проведения экспериментальных исследований. На рисунке показано специальное устройство для сварки трением на базе токарного станка.



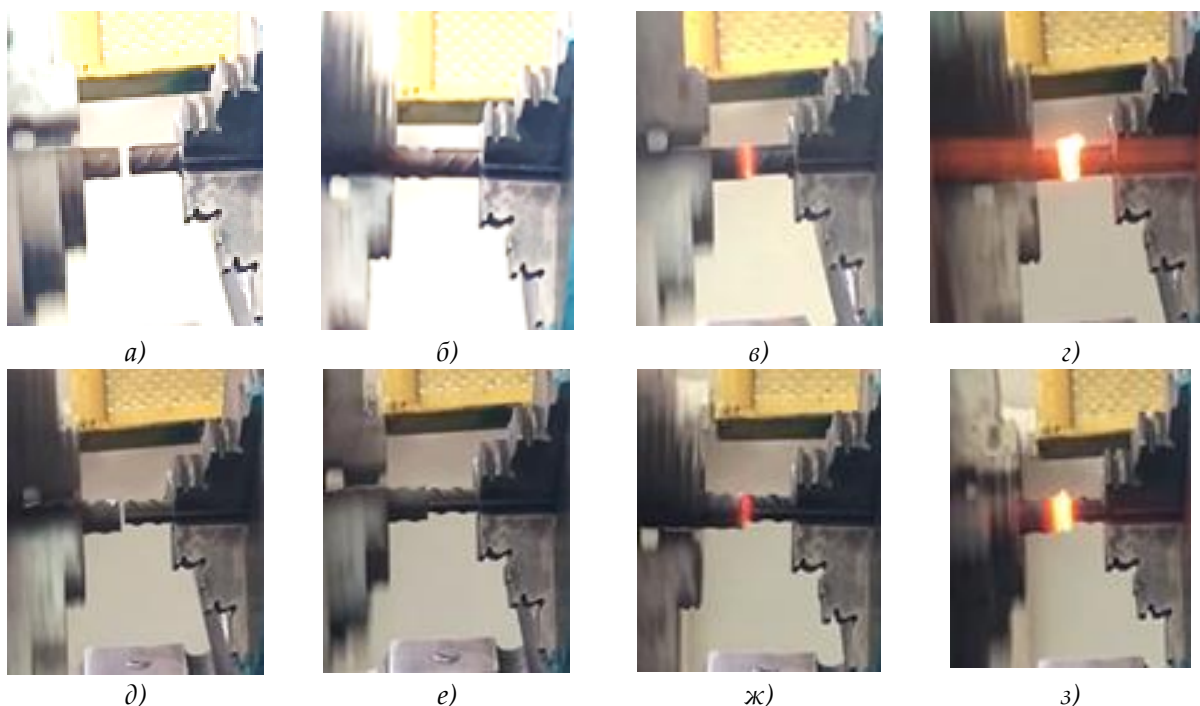
1 – токарный станок; 2 – трехкулачковый патрон токарного станка; 3,4 – инструментальные стержни; 5 –

трехкулачковый патрон устройства; 6 – кронштейн устройства; 7 – плита устройства; 8 – суппорт токарного станка

Рисунок 2. Специальное устройство для сварки трением на базе токарного станка

В лаборатории кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» КарТУ им. А. Сагитова под руководством профессора К.Т. Шерова были проведены серии экспериментальных исследований процесса сварки трением арматурных стержней различного диаметра [17,18].

На рисунке 3 показаны фотографии процесса сварки трением арматурных стержней.



а,б,в,г – последовательность выполнения процесса сварки трением арматурных стержней одинакового диаметра; д,е,ж,з - последовательность выполнения процесса сварки трением арматурных стержней разного диаметра

Рисунок 3. Фотографии процесса сварки трением арматурных стержней

Обсуждение

Для соединения сваркой трением в качестве заготовок использовались немерные отрезки арматурных стержней диаметрами 8 мм, 12 мм и 14 мм.

Заготовки закреплялись в трехкулачковых патронах токарного станка и специального устройства. В процессе сварки заготовка, закрепленная в трехкулачковом патроне станка, имеет вращательное движение, при этом вторая заготовка, закрепленная в трехкулачковом патроне устройства, неподвижна. Усилие при сварке трением осуществляется движением подачи устройства, закрепленного на суппорте токарного станка. При выполнении опытов частота вращения шпинделя станка варьировалась в диапазоне $n_{шп} = 685\div 2000$ об/мин. На рисунке 4 показаны некоторые арматурные стержни, соединенные сваркой трением.



Рисунок 4. Некоторые арматурные стержни, соединенные сваркой трением

Соединенные арматурные стержни прошли испытания на растяжение и разрыв в лабораторных условиях и в сертифицированном испытательном центре «Национальный центр экспертизы и сертификации» (г. Караганда, Казахстан). Результаты испытания показали высокую прочность соединения. Разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования процесса сварки трением цилиндрических заготовок из различных разнородных материалов (сталь+алюминий, сталь+чугун, чугун+титан, титан+сталь и др.).

Выводы

1. Выполнен обзор способа сварки трением разнородных материалов и исследованы степень его изученности, а также технологические возможности.

В частности, были исследованы работы зарубежных ученых, которые показали актуальность способа сварки трением не только для науки, но и для производства. Также необходимо отметить, что способ сварки трением, несмотря на высокие показатели качества, не нашел применения в отечественных производствах машиностроительной отрасли Республики Казахстан. Такое состояние проблемы диктует необходимость разработки более универсальной и доступной технологии сварки трением.

2. В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования по соединению арматурных стержней способом сварки трением. Результаты показали, высокую прочность сварных соединений. При испытаниях разрыв стержней происходил не в сварных швах, а в основном металле.

Литература

1. Федосов С.А., Оськин И.Э. Основы технологии сварки: учебное пособие. 3-е изд., испр. - М.: Инновационное машиностроение, 2021. - 125 с.

2. Банов М.Д., Масаков В.В., Плюснина Н.П. Специальные способы сварки и резки. – М.: Академия, 2009. – 208 б.

3. H.C. Dey, M. Ashfaq, A.K. Bhaduri and K. Prasad Rao, Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 209, Issues 18-19, September 2009, PP. 5862-5870.

4. C. Shanjeevi, S. Satish Kumar, and P. Sathiya, "Evaluation of Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Materials by Friction Welding". *International Conference on Design and Manufacturing*, 64, pp. 1514-1523, 2013.

5. Mumin Sahin. Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel / *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 168, Issue 2, 30 (2005), Pages 202-210. DOI:

6. Emel Taban., Jerry E. Gould., & John C. Lippold, "Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminium and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization." *Materials and Design* 31, pp. 2305-2311, 2010.

7. B. Jeslin, M. Deepak Kumar, and P. G. Venkatakrishnan, "Parameter Optimization on Friction Welding of Aluminium Alloy 6082T6 & Copper." International Journal of Innovative Research in Technology, 1(12), 2015, pp. 1547-1551.

8. Hazman Seli, Ahmad Izani Md. Ismail, Endri Rachman, Zainal Arifin Ahmad, Mechanical evaluation and thermal modeling of friction welding of mild steel and aluminum, Journal of Materials Processing Technology, Volume 210, pp. 1209-1216, March. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.007>

9. Jeswin Alphy James, and R. Sudhish, "Study on Effect of Interlayer in Friction welding for Dissimilar Steels: SS 304 and AISI 1040." Procedia Technology 25, pp. 1191-1198, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.238>

10. D. Ananthapadmanaban, V. Seshagiri Rao, Nikhil Abraham and K. Prasad Rao (2009) A study of mechanical properties of friction welded mild steel to stainless steel joints, Materials & Design, Volume 30, Issue 7, August, PP. 2642-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.030>

11. P. Venkat Koushik, and D. Avinash, "Experimental Investigation of Friction Welding using Aluminium with Mild Steel." International Research Journal of Engineering and Technology, 3(12), pp. 680-685, 2016.

12. S. D. Meshram, and G. Madhusudhan Reddy, "Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer." Defence Technology 11, pp. 292-298, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.007>

13. Sandeep Kumar, Rajesh Kumar, and Yogesh Kumar Singla (2012) To Study the Mechanical Behaviour of Friction Welding of Aluminium Alloy and Mild Steel. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(3), pp. 43-50.

14. C. Maldonado, "Softened Zone Formation and Joint Strength properties in Dissimilar Friction welds." Journal of Materials science 37, pp. 2087-2095, 2002.

15. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. и др. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / Journal of Applied Engineering (JAES) Science, Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>

16. Шеров К.Т., Есиркепова А.Б., Иманбаев Е.Б., Ғабдысалық Р., Бузауова Т.М. и др. Устройство для сварки трением / Патент №4676 РК на полезную модель. Опубликовано 14.02.2020г. Бюл. №6.

17. Шеров К.Т., Есиркепова А.Б., Абишева Н.Б., Туреханов Б.Е. Арматуралық өзектердің қысқа кесінді қалдықтарын үйкеліспен дәнекерлеп біріктіру // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации», Часть 3. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2021. – С.1424-1426.

18. Sherov K.T., Serova R., Yessirkepova A, Mussayev M., Ashurova N., Mazdubai A., Okimbayeva A., Smailova B., Kassymbabina D. Laboratory tensile testing of unmeasurable parts of reinforcing bars joined by butt welding method / International Journal of GEOMATE, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.196-202. DOI:

**К.Т. Шеров¹, Т.Г. Насад², Н.Б. Абишева³,
А.Б. Есиркепова³, А.Б. Ержанова¹, К.И. Имашева³**

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

²Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов, Ресей

³А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің технологиялық мүмкіндігін зерттеу

Аңдатпа. Бұл мақалада Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің

технологиялық мүмкіндігін зерттеу бойынша шетелдік ғалымдардың зерттеу нәтижелері берілген. Сондай-ақ отандық машина жасау салаларына Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің ресурсты үнемдейтін, әмбебап және қолжетімді технологиясын жасау бойынша авторлардың ғылыми-зерттеу жұмыстары туралы ақпарат жазылған. Шетелдік ғалымдардың жұмыстарын зерттеу нәтижелері әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісі өзекті және кең технологиялық мүмкіндікке ие екенін көрсетті. Сондай-ақ отандық машина жасау өндірісі жағдайында әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісі қолданылмайтыны анықталды. Мәселенің бұл жағдайының болжамды себептері анықталды. Әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің қолданыстағы әдістерін зерттеу барысында анықталған барлық кемшіліктер мен факторларды ескере отырып, авторлар әр текті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің жаңа әдісін жасауға бағытталған ғылыми зерттеулерді жүзеге асырады. Үйкеліспен дәнекерлеу әдісін жүзеге асыру үшін арнайы құрылғының конструкциясы әзірленді және тәжірибелік зерттеулер үшін прототип жасалды. Өртүрлі диаметрлі арматураларды үйкеліспен пісіру процестері келтірілген. Қосылған арматуралардың зертханалық жағдайларда және сертификатталған сынақ орталығында созылу және үзілу сынақтарынан өткені, оның нәтижелері қосылыстың жоғары беріктігін көрсеткені хабарланады. Дайындамалардың жарылуы дәнекерленген тігістерде емес, негізгі металда болды.

Түйінді сөздер. үйкеліспен дәнекерлеу, әр текті материалдар, үйкеліспен дәнекерлеу түрлері, беріктік, созылу, үзілу, арматура.

К.Т. Sherov¹, Т.Г. Nasad², N.B. Abisheva³,

А.В. Esirkepova³, А.В. Yerzhanova¹, К.И. Imasheva³

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan

²Y. Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia

³A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Investigation of the technological feasibility of the method of friction welding of dissimilar materials

Abstract. This article presents the results of a study by foreign scientists on the study of the technological feasibility of the method of friction welding of dissimilar materials. As well as information about the research work of the authors on the creation of a resource-saving, universal and affordable technology for friction welding of dissimilar materials for domestic engineering industries. The results of the study of the work of foreign scientists showed that the method of friction welding of dissimilar materials is relevant and has a wide technological capability.

It was also found that there was not used method of friction welding of dissimilar materials in the conditions of domestic engineering industries. The article presents alleged causes of this state of the problem. Considering all the shortcomings and factors identified during the study of existing methods of friction welding of dissimilar materials, the authors carried out scientific research aimed at creating a new method of friction welding of dissimilar materials. To implement the friction welding method, a design of a special device was developed and a prototype was made for experimental studies.

The article considers processes of friction welding of reinforcing bars of different diameters. It is reported that the connected reinforcing bars have passed tensile and rupture tests in laboratory conditions and in a certified test center, the results of which showed a high strength of the connection. The rupture of the rods did not occur in the welds but in the base metal.

Keywords. friction welding, dissimilar materials, types of friction welding, strength, tension, rupture, reinforcing bars.

References

1. Fedosov S.A., Oskin I.E. Fundamentals of welding technology: a tutorial. 3rd ed., rev. - M.: Innovative engineering, 2021. - 125 p.
2. Banov M.D., Masakov V.V., Plyusnina N.P. Special methods of welding and cutting. - M.: Academy, 2009. - 208 p.
3. H.C. Dey, M. Ashfaq, A.K. Bhaduri and K. Prasad Rao, Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issues 18-19, September 2009, PP. 5862-5870.
4. C. Shanjeevi, S. Satish Kumar, and P. Sathiya, "Evaluation of Mechanical and Metallurgical Properties of Dissimilar Materials by Friction Welding". International Conference on Design and Manufacturing, 64, pp. 1514-1523, 2013.
5. Mumin Sahin. Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel / Journal of Materials Processing Technology, Volume 168, Issue 2, 30 (2005), Pages 202-210. DOI:
6. Emel Taban., Jerry E. Gould., & John C. Lippold, "Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminium and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization." Materials and Design 31, pp. 2305-2311, 2010.
7. B. Jeslin, M. Deepak Kumar, and P. G. Venkatakrishnan, "Parameter Optimization on Friction Welding of Aluminium Alloy 6082T6 & Copper." International Journal of Innovative Research in Technology, 1(12), 2015, pp. 1547-1551.
8. Hazman Seli, Ahmad Izani Md. Ismail, Endri Rachman, Zainal Arifin Ahmad, Mechanical evaluation and thermal modeling of friction welding of mild steel and aluminum, Journal of Materials Processing Technology, Volume 210, pp. 1209-1216, March. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.03.007>
9. Jeswin Alphy James, and R. Sudhish, "Study on Effect of Interlayer in Friction welding for Dissimilar Steels: SS 304 and AISI 1040." Procedia Technology 25, pp. 1191-1198, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.238>
10. D. Ananthapadmanaban, V. Seshagiri Rao, Nikhil Abraham and K. Prasad Rao (2009) A study of mechanical properties of friction welded mild steel to stainless steel joints, Materials & Design, Volume 30, Issue 7, August, PP. 2642-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.030>
11. P. Venkat Koushik, and D. Avinash, "Experimental Investigation of Friction Welding using Aluminium with Mild Steel." International Research Journal of Engineering and Technology, 3(12), pp. 680-685, 2016.
12. S. D. Meshram, and G. Madhusudhan Reddy, "Friction welding of AA6061 to AISI 4340 using silver interlayer." Defence Technology 11, pp. 292-298, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.007>
13. Sandeep Kumar, Rajesh Kumar, and Yogesh Kumar Singla (2012) To Study the Mechanical Behaviour of Friction Welding of Aluminium Alloy and Mild Steel. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 1(3), pp. 43-50.
14. C. Maldonado, "Softened Zone Formation and Joint Strength properties in Dissimilar Friction welds." Journal of Materials science 37, pp. 2087-2095, 2002.
15. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. и др. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / Journal of Applied Engineering (JAES) Science, Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>
16. Sherov K.T., Esirkepova A.B., Imanbaev E.B., Gabdysalyk R., Buzauova T.M. and others. Device for friction welding / Patent No. 4676 of the Republic of Kazakhstan for a useful model. Published on 14.02.2020 Bull. No. 6.
17. Sherov K.T., Esirkepova A.B., Abisheva N.B., Turekhanov B.E. Connection of measured waste of reinforcing bars by friction welding // Proceedings of the international scientific and practical conference "Integration of science, education and production - the basis for the implementation of the

Plan of the Nation", Part 3. - Karaganda: Publishing House of KSTU, 2021. - P.1424-1426.

18. Sherov K.T., Serova R., Yessirkepova A., Mussayev M., Ashurova N., Mazdubai A., Okimbayeva A., Smailova B., Kassymbabina D. Laboratory tensile testing of unmeasurable parts of reinforcing bars joined by butt welding method / International Journal of GEOMATE, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.196-202. DOI:

Сведения об авторах:

Шеров К.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

Насад Т.Г. – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология и системы управления в машиностроении» Саратовского государственного технического университета, ул. Политехническая, 77, Саратов, Россия

Абишева Н.Б. – докторант кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Есиркепова А.Б. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Ержанова А.Б. – доктор Ph.D., старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

Имашева К.И. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Sherov K.T. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technological Machines and Equipment", S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Nasad T.G. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology and Control Systems in Mechanical Engineering", Saratov State Technical University, 77 Politekhnicheskaya st., Saratov, Russia

Abisheva N.B. - Doctoral student of the department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Esirkepova A.B. - Senior Lecturer of the Department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Erzhanova A.B. – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of "Technological Machines and Equipment", S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

Imasheva K.I. - Senior Lecturer of the Department "Technological equipment, mechanical engineering and standardization", A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbaev ave., Karaganda, Kazakhstan.