

Экспериментальная оценка повышения прочности соединений тонкостенных деталей из алюминиевого сплава АМгб на базе применения сварки трением с перемешиванием

03, март 2015

Тарасов В. А.¹, Филимонов А. С.^{1,*}, Гуревский А. В.¹, Боярская Т. О.¹

УДК: 621.791

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}alexf72@mail.ru

Надежность ракетно-космической техники в значительной степени определяется качеством сварных соединений. Наиболее распространенной в ракетно-космическом машиностроении является аргонодуговая сварка [1, 21-23]. Среди ее достоинств можно назвать:

- простоту организации технологического процесса,
- доступность и малую стоимость технологического оборудования,
- высокую стабильность свойств сварного шва,
- возможность автоматизации процесса сварки и др.
- Вместе с этим аргонодуговая сварка имеет ряд существенных недостатков:
- наличие остаточных напряжений в сварном шве, что снижает его прочность и коррозионную стойкость;
- снижение прочности материала сварного шва в силу несовершенства его структуры (крупнозернистая структура, возможность появления включений и пор);
- рост дефектности структуры материала шва по мере увеличения толщины сварной конструкции;
- значительная трудоемкость подготовки кромок элементов к сварке.

Как показали исследования [2, 21-23], использование лазерной сварки позволяет существенно сократить уровень остаточных напряжений в сварном шве и повысить качество структуры материала. Однако данный вид сварки требует значительных затрат электроэнергии и трудно реализуем при сварке толстостенных конструкций.

Электроннолучевая сварка также обеспечивает высокое качество сварных конструкций [3, 21-23] и уже применялась при изготовлении толстостенных баков ракеты-носителя «Энергия». Однако для ее реализации требуется вакуумирование зоны сварки, которое достигается в вакуумных камерах при небольших размерах объекта сварки, или осуществляется с помощью специальных присосок при больших габаритах конструкции.

К числу перспективных методов повышения качества сварных соединений листовых материалов и плит следует отнести сварку трением с перемешиванием (ФПО - Frictioning Trip Processing), которую активно исследуют и внедряют в производство в России и за рубежом. Исследования показали [4-12], что в результате термомеханического воздействия специальным инструментом (рис.1) на кромки свариваемого материала в последнем достигается жидко-твердое состояние, а в результате контакта с поверхностью инструмента формируется завихрение материала в двух направлениях. Исследования показали, что для данного вида сварки характерны следующие преимущества [12-20].

- 1) Малая величина остаточных сварочных деформаций даже при сварке протяженных швов.
- 2) Однородная структура материала сварных швов без пор, трещин и т.д..
- 3) Низкая склонность к коррозии материала сварных швов и слабая зависимость от уровня остаточных напряжений.
- 4) Возможность сварки толстостенных элементов конструкции.
- 5) Высокая автоматизация процесса сварки за счет использования специальных станков с ЧПУ.
- 6) Простота подготовки кромок и отсутствие потребности в присадочных материалах и флюсах.
- 7) Малый расход энергии.
- 8) Благоприятная экология технологического процесса.

Первые три достоинства позволят рассчитывать на повышение прочности сварного соединения. Однако накопленный к настоящему времени опыт не позволяет утверждать, что полученная база знаний достаточна для повышения качества неразъемных соединений на базе сварки трением с перемешиванием. Поэтому представляет значительный интерес продолжение исследований взаимосвязи технологических режимов и свойств соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием.

В связи с этим, представленную статью, которая посвящена экспериментальной оценке повышения прочности соединений тонкостенных деталей из алюминиевого сплава АМг6 на базе применения сварки трением с перемешиванием, следует считать актуальной. Признаками научной новизны обладают результаты, расширяющие базу знаний о влиянии технологических режимов на прочность соединений, полученных с помощью сварки трением с перемешиванием.

Сварка осуществлялась вращающимся инструментом (рис.1) на следующих технологических режимах: скорость вращения инструмента 1000 об/мин, скорость подачи 100 мм/мин, сила прижима инструмента 10 кН. Испытания проводились на разрывной машине HECKERT FP 100 с максимальным усилием 100 кН.

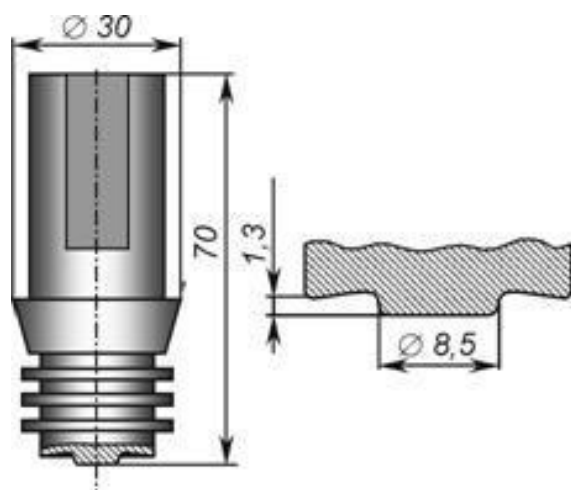


Рис. 1. Параметры инструмента для сварки трением с перемешиванием

При проведении экспериментальных исследований:

- использовался листовый материал АМг6 толщиной 2 и 4 мм,
- осуществлялось сравнение результатов испытания прочности исходного материала, а также сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием и аргонодуговой сваркой,
- сварные швы располагались под углом 90° и 45° по отношению к направлению действия разрушающей силы.

Испытания показали, что образцы толщиной 4 мм с соединением, полученным аргонодуговой сваркой (рис. 2), разрушались по сварному шву.



Рис. 2. Картина разрушения образца толщиной 4 мм с соединением, полученным аргонодуговой сваркой

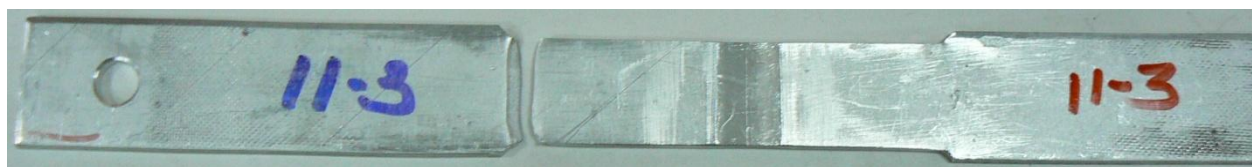


Рис. 3. Картина разрушения образца толщиной 4 с соединением, полученным сваркой трением с перемешиванием

На образцах с соединением, полученным сваркой трением с перемешиванием на указанных выше режимах, разрушение происходило по телу образца, а не по сварному шву (рис.3). Это позволяет предположить, что примененные режимы сварки обеспечивают прочность соединения не ниже прочности основного материала.

Для образцов толщиной 2 мм аргонодуговая сварка обеспечила большую прочность соединения по сравнению со сваркой трением с перемешиванием. Это доказывает необходимость более глубокого изучения взаимосвязи применяемых технологических режимов сварки трением с перемешиванием, типа и толщины свариваемых материалов.

Для установления диаграммы напряженно-деформированного состояния материала в зоне сварного шва, полученного сваркой трением с перемешиванием, необходимо было обеспечить локализацию пластических деформаций и разрушение образцов толщиной 4мм по сварному шву (рис. 4). В проведенных экспериментальных исследованиях это достигалось путем уменьшения ширины образца с помощью механической обработки.

Данные испытания на разрывной машине позволили построить диаграммы напряженно-деформированного состояния материала в зоне сварного шва для толщин 4мм (рис. 5) и 2мм (рис. 6).

Установлено, что предел прочности материала находится в диапазоне 310-335 МПа для заготовок толщиной 4 мм и в диапазоне 250-270 МПа для заготовок толщиной 2 мм. Диаграмма показывает также, что характер деформирования материала сварного шва на образцах толщиной 4 и 2мм существенно отличаются друг от друга. Это свидетельствует о том, что выбранные технологические режимы не являются оптимальными для сварки трением с перемешиванием материалов толщиной 2мм и нуждаются в дополнительном экспериментальном уточнении.



Рис. 4. Картина разрушения образца толщиной 4 мм с локализацией пластических деформаций в области соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием

Для сравнения на рис. 7 представлена диаграмма напряженно-деформированного состояния материала при растяжении на образцах, полученных аргонодуговой сваркой. Результаты подтверждают, что при правильном выборе технологических режимов сварки трением с перемешиванием прочность сварного соединения по сравнению с аргонодуговой сваркой оказывается более высокой.

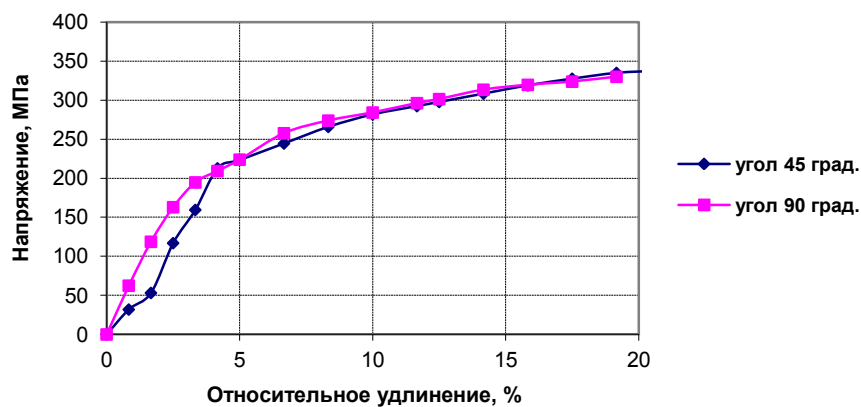


Рис. 5. Диаграмма напряженно – деформированного состояния при растяжении образцов толщиной 4 мм в зоне сварного шва, расположенного под углом 45⁰ и 90⁰

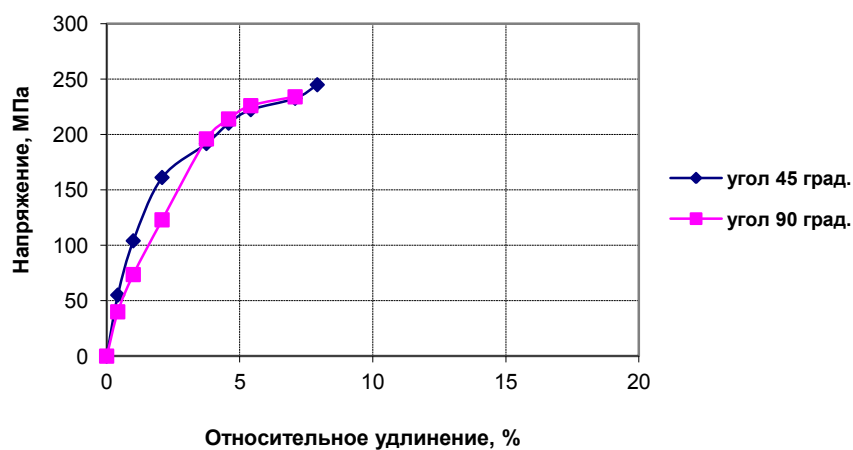


Рис. 6. Диаграмма напряженно – деформированного состояния при растяжении образцов толщиной 2 мм в зоне сварного шва, расположенного под углом 45⁰ и 90⁰

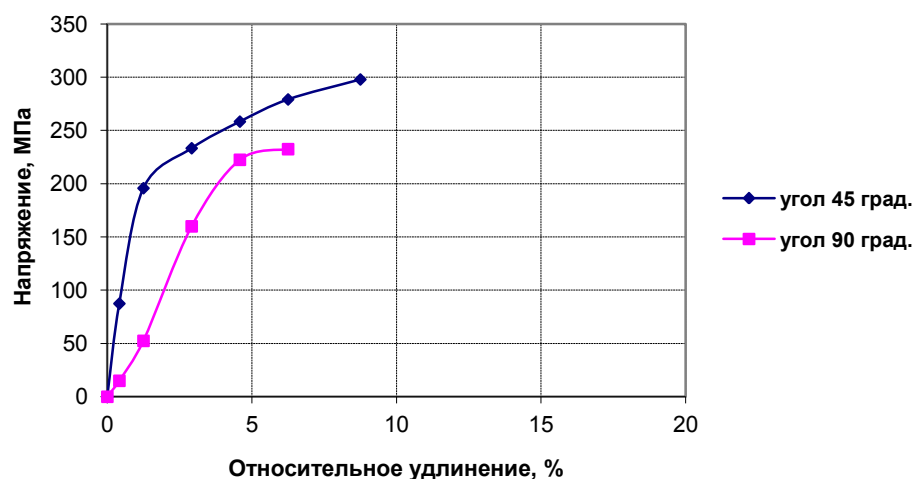


Рис. 7. Диаграмма напряженно – деформированного состояния при растяжении образцов в зоне сварного шва, полученного аргонодуговой сваркой и расположенного под углом 45⁰ и 90⁰

Заключение

Сварка трением с перемешиванием имеет преимущество перед аргонодуговой сваркой по критерию прочности сварных соединений.

Сварка трением с перемешиванием при согласованности технологических режимов с толщиной и маркой свариваемых материалов обеспечивает прочность соединения на уровне прочности материалов.

При согласованности технологических режимов с толщиной и маркой свариваемых материалов диаграммы напряженно-деформированного состояния исходного материала и материала шва оказываются идентичными.

Наличие локального утонения материала в области шва при сварке трением с перемешиванием под действием давления со стороны инструмента не снижает прочности сварного соединения.

Список литературы

1. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. / Г.А. Николаев и др. Т.2 / Под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 1978. 462 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов. / Под ред. Григорьянц А.Г. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 663с.
3. Назаренко О.К., Истомин Е.И., Локшин В.Е. Электронно-лучевая сварка. – М: Машиностроение, 1985. 127с.
4. Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Murch MG, Templesmith P, Dawes CJ. Friction Stir Butt Welding, G.B. Patent Application No. 9125978.8, 1991; U.S. Patent No. 5460317, 1995
5. Cao G. Friction Stir Welding of 2219 Aluminum: Behavior of θ (Al_2Cu) particles / G.Cao, S.Kou // Welding journal.- 2005- January.- P.25-30.
6. Santella M.L. Friction Stir Welding and Processing of Advanced Materials / M.L. Santella [et al.] // High Strength Weight Reduction Materials. FY 2004 Progress Report. - P. 11.
7. Smith C. B. Friction Stir and Friction Stir Spot Welding – Lean, Mean and Green / C.B. Smith [et al.] // Friction Stir Link, Inc. W227 N546 Westmound Dr., Waukesha, WI 53186. - 2004. - P. 8.
8. Kluken A., Ranes M. Aluminium bridge constructions – welding technology and fatigue properties // Svetsaren. 1995. Vol. 50, № 3. P. 13-15.
9. Пат. US 2006/0102699 A1 США, B23K 20/12. Counter-rotating spindle for friction stir welding. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); The Boeing Company; Заяв. 07.02.05; Опубл. 18.05.06. - 13 p.

10. Пат. US 2009/0236045 A1 США, B23K 20/12. Methods and apparatus for retractable pin friction stir welding and spot welding. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); Заяв. 29.05.09; Оpubл. 24.09.09. - 13 p.
11. Пат. US 2006/0163316 A1 США, B23K 20/12. Friction stir welding apparatus. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); The Boeing Company; Заяв. 24.01.05; Оpubл. 27.07.06. - 9 p.
12. Семенов Б.И. Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии: учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 223 с.
13. В.Ф. Лукьянов, В.Я. Харченко, Ю.Г. Людмирский. Производство сварных конструкций (изготовление в заводских условиях) / В.Ф. Лукьянов, В.Я. Харченко, Ю.Г. Людмирский — Ростов н/Д: ООО «Терра Принт», 2006. 336 с.
14. Котлышев Р. Р., Чуларис А. А., Людмирский Ю. Г. Гипотеза образования соединения при сварке трением с перемешиванием. // Сварка и Диагностика, 2010. №4. С.31-35.
15. Фролов В. А., Иванюхин А. Н., Сабанцев А. Н., Диденко С. А., Конкевич В. Ю., Белоцерковец В. В. Сварка трением с перемешиванием - плюсы и минусы. // Сварочное производство, 2008. №10. С. 12-19.
16. Ищенко А. Я., Подбельников С. В., Покляцкий А. Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) // Автоматическая сварка, 2007. №11. С. 32-38.
17. Корневич А.П., Семенов Б.И., Чуфринова Я.В., Шилло Г.В. Особенности технологии сварки трением с перемешиванием. // Заготовительные производства в машиностроении, 2009. №9. С. 7-14.
18. Корневич А.П., Семенов Б.И., Чуфринова Я.В., Шилло Г.В. Особенности технологии сварки трением с перемешиванием. (Продолжение) // Заготовительные производства в машиностроении, 2009. №10. С. 8-17.
19. Ханин В.В., Круглов П.В. Оценка технологических возможностей сварки патрубков в днища изделий ракетно-космической техники фрикционной сваркой. // Известия вузов. Машиностроение, 2012. № 7. С. 67-71.
20. Волков С. С. Расчет параметров датчика для контроля качества сварных соединений при ультразвуковой сварке пластмасс. // Сварка и Диагностика, 2010. № 4. С. 35-41.
21. Алешин Н. П., Лысак В. И., Лукьянов В. Ф. Современные способы сварки: учеб. пособие / Н.П. Алешин, В.И. Лысак, В.Ф. Лукьянов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 59 с.
22. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов: [монография] / ред. Макаров Э. Л. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 487 с.
23. Алешин Н. П., Лысак В. М., Лукьянов В. Ф. Современные способы сварки конструкционных материалов. / Алешин Н. П., Лысак В. М., Лукьянов В. Ф. // Справочник. Инженерный журнал, 2011. № 5. С. 21-25.