

ПОЛУЧЕНИЕ НЕРАЗЪЕМНОГО СВАРНОГО ТИТАНО-АЛЮМИНИЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.П. Мурзин

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва
(национально исследовательский университет)

Прогрессивным при сварке деталей из жаропрочных коррозионно-стойких титановых сплавов с изделиями из материалов на основе алюминия является использование лазерных технологий. Для создания требуемого распределения плотности мощности в поперечном сечении лазерного пучка целесообразно использовать дифракционные оптические элементы – фокусаторы лазерного излучения. Лазерная сварка титанового сплава BT5-1 и алюминиевого сплава АК-4 проводилась на установке ROFIN StarWeld Manual Performance. В результате металлографических исследований определено, что образующаяся при лазерном плавлении литая зона имеет однородную структуру без пустот и раковин, что указывает на потенциальную достаточно высокую работоспособность сварного соединения.

Алюминиевые и титановые сплавы широко используются в конструкциях летательных аппаратов. Получение их высокопрочных и надежных соединений и, в особенности, между собой - относится к числу актуальных задач аэрокосмической промышленности в сфере производства неразъемных соединений. Основами этих сплавов являются химически активные титан и алюминий, которые обладают значительно отличающимися физико-механическими свойствами (в том числе, температурами плавления, теплопроводностью, прочностными характеристиками и т.д.) и ограниченной взаимной растворимостью. Применение для получения неразъемных сварных титано-алюминиевых соединений так называемых традиционных методов сопряжено со значительными трудностями и, зачастую, не обеспечивает требуемого качества соединения. Образующиеся при кристаллизации таких швов интерметаллиды приводят к охрупчиванию материала [1]. Для разнородных металлических материалов известны несколько методов сварки: аргонодуговая сварка неплавящимся электродом [2], сварка с использованием промежуточного металла [3], сварка давлением [4], диффузионная сварка [5]. Однако ни один из перечисленных методов, а также использование сочетания разных видов сварки не исключают появления прослоек интерметаллидов [6]. Сварка взрывом позволяет сваривать только листовые материалы.

Основной причиной, осложняющей сварку титановых сплавов между собой и с другими материалами, является активное взаимодействие титана с атмосферными газами при повышенных температурах, особенно в жидком состоянии. Кроме того при сварочном термическом цикле структурные превращения в шве и околошовной зоне приводят к формированию хрупких интерметаллидных и карбидных фаз. Применяя известные способы сварки плавлением трудно получить высокопрочные и надежные соединения титановых сплавов между собой и с алюминием. Достаточной прочности и термостойкости неразъемных соединений не позволяет достичь и пайка титановых сплавов. Физико-механические свойства и жаропрочность припоев значительно ниже, чем у титановых сплавов, что приводит к пониженной термомеханической надежности соединения. При пайке титановых и алюминиевых сплавов усложняется выбор припоя, одинаково хорошего смачивающего контактирующие поверхности.

Прогрессивным при сварке деталей из жаропрочных коррозионно-стойких титановых сплавов с изделиями из материалов на основе алюминия является использование лазерных технологий. Обеспечивается локальность по глубине и площади протекающих в зоне термического влияния физических процессов при сохранении

исходных свойств материала в остальном объеме и отсутствии значительных деформаций обрабатываемых деталей [7, 8]. Для создания требуемого распределения плотности мощности в поперечном сечении лазерного пучка целесообразно использовать дифракционные оптические элементы – фокусаторы лазерного излучения [9-11]. При этом достигается высокая скорость плавления и кристаллизации материала, что обусловлено интенсивным теплоотводом из небольшой по объему расплавленной ванны в окружающий материал изделия. Проведено исследование влияния параметров лазерного излучения на структуру шва сварного соединения алюминиевого и титанового сплава.

В качестве свариваемых материалов при проведении экспериментальных исследований выбраны листовые материалы: алюминиевый сплав АК-4 и титановый сплав BT5-1 толщиной 2 мм. Такое сочетание материалов, используется при изготовлении ряда узлов летательных аппаратов. Деформируемый сплав АК4, относящийся к группе жаропрочных алюминиевых сплавов специального назначения используются для изготовления деформируемых полуфабрикатов. Сплав BT5-1 относится к деформируемым титановым сплавам. Непосредственно перед сваркой соединяемые поверхности деталей тщательно промывались в растворителях с целью удаления с них различного рода загрязнений (пыли, жировых пленок и т.п.).

Лазерная сварка проводилась на установке ROFIN StarWeld Manual Performance, применяемая система “Sweet Spot Resonator” обеспечивает вывод излучения постоянной мощности на обрабатываемый материал. В ходе выполнения сварки для улучшения параметров процесса обработки материалов форма и длительность импульса излучения могут быть изменены с помощью программы “Pulse Shaping”. Это предоставляет возможность при плавлении материала получить однородную структуру без пустот и раковин. Достигаются минимальные термические нагрузки, улучшается термический цикл нагрева и охлаждения обрабатываемого материала, что обеспечивает высокое качество сварки.

Проведено исследование структуры шва стыкового соединения без скоса кромок титанового сплава BT5-1 и алюминиевого сплава АК-4. Для проведения металлографических исследований использовался сканирующий электронный микроскоп Phenom proX, имеющий диапазон увеличений 80–45000х. В результате металлографических исследований определено, что образующаяся при лазерном плавлении литая зона имеет однородную структуру без пустот и раковин, что указывает на потенциальную достаточно высокую работоспособность сварного соединения. Зона металла шва разнородных материалов, формирующаяся при сварке, характеризуются индивидуальной структурой, ориентацией кристаллов, распределением фаз. Осуществлялось исследование излома шва. При изучении поверхности разрушения в поле зрения оптического микроскопа при различных увеличениях установлено, что структура излома однородна. Площадь поверхности излома характеризуется волокнистостью. Поверхность излома не имеет металлического блеска, отсутствуют дефекты в виде пор, неметаллических включений.

В результате исследования структуры излома с помощью аналитического растрового электронного микроскопа Phenom-ProX установлено следующее. Сформировавшиеся в процессе разрушения волокна вытянуты вдоль главной трещины. Микроструктура зоны разрушения характеризуется наличием крупных и мелких ямок, причем на дне ямок наблюдается волокнистость. Изображение поверхности излома сварного соединения представлено рисунке 1. Мелкозернистый волокнистый излом без блеска характеризует потенциально достаточно хорошую пластичность и высокую ударную вязкость металлического материала. Металлографические исследования микрошлифов позволяют сделать вывод о формировании фактического контакта между свариваемыми поверхностями.

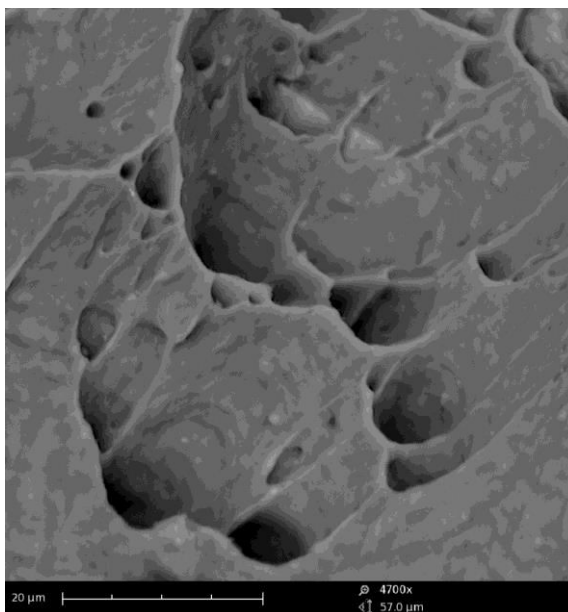


Рисунок 1 – Изображение излома сварного соединения, полученное с помощью аналитического растрового электронного микроскопа Phenom-ProX; увелич. x4700

Лазерная сварка вследствие значительно более точного управления параметрами теплового источника в зоне сварки обладает преимуществом для сварки разнородных материалов. Использование высокотехнологичной сварки лазерным излучением алюминиевых сплавов позволяет избежать образования оксидной пленки Al_2O_3 , которая является достаточно распространенным дефектом при сварке плавлением. Особенностью применения лазерных технологий сварки являются высокие достижимые скорости, что предоставляет возможность избежать образования интерметаллидной прослойки и минимизировать зону термического влияния в материалах с высокой теплопроводностью.

Литература

1. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 208 с.
2. Borrisutthekul R., Mitsomwang P., Rattanachan S., Mutoh Y. Feasibility of using TIG welding in dissimilar metals between steel/aluminum alloy // *Energy Research Journal*. 2010. Vol. 1, № 2, pp. 82-86.
3. Saida K., Ohnishi H., Nishimoto K. Fluxless laser brazing of aluminium alloy to galvanized steel using atandem beam – dissimilar laser brazing of aluminium alloy and steels // *Welding international*. 2010. Vol. 24, № 3, pp. 161-168.
4. Shubhavardhan R.N., Surendran S. Friction welding to join dissimilar metals // *International journal of emerging technology and advanced engineering*. 2012. Vol. 2, № 7, pp. 200-210.
5. Wang J., Li Y., Wu H., Ren J. Micro-image analysis in the diffusion-bonded zone of Fe₃Al/Q235 carbon steel dissimilar materials // *Bulletin of materials science*. 2001. Vol. 25, № 5, pp. 367-370.
6. Рябов В.Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами. Киев: Наукова думка, 1983. 264 с.
7. Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Трегуб В.И. Оптическая система для проведения селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов // *Компьютерная оптика*. 2010, Т. 34, № 4. С. 481-486.
8. Мурзин С.П., Трегуб В.И., Мельников А.А., Трегуб Н.В. Применение фокусаторов излучения для создания металлических нанопористых материалов с высокой удельной площадью поверхности лазерным воздействием // *Компьютерная оптика*. 2013. Т. 37, № 2. С. 226-232.
9. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Tzaregorodtzev A.Ye. Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment // *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*. 1995. Vol.101, № 2. P.37-41.
10. Kazanskiy N.L., Kotlyar V.V., Soifer V.A. Computer-aided design of diffractive optical elements // *Optical Engineering*. 1994. Vol. 33, N 10. P. 3156-3166.
11. Paveleyev V.S., Borodin S.A., Kazanskiy N.L., Kostyuk G.F., Volkov A.V. Formation of diffractive microrelief on diamond film surface // *Optics & Laser Technology*. 2007. Vol. 39, N 6. P. 1234-1238.