

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ РЕЛЬЕФОМ

И. М. Гатиятуллин¹, В. Р. Галимов²

¹ rb.myyashik@gmail.com, ² houndedreaper@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Приведен обзор зарубежной и отечественной литературы на современное состояние линейной сварки трением (ЛСТ) деталей с несимметричным рельефом. Рассмотрены преимущества ЛСТ деталей с несимметричным рельефом над ЛСТ деталей с симметричным рельефом. Назначены задачи для дальнейшего исследования приведенной области ЛСТ.

Ключевые слова: сварка трением; линейная сварка трением; симметричный рельеф; несимметричный рельеф; обзор.

Линейная сварка трением (ЛСТ) представляет собой сварку с применением давления, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным относительным возвратно-поступательным перемещением свариваемых деталей. ЛСТ является сравнительно молодым методом среди других способов сварки трением. Несмотря на это процесс активно используется при изготовлении блисков газотурбинных двигателей (ГТД) в таких странах, как США, Англия, Германия, Франция, Россия. Применение ЛСТ в области производства блисков ГТД обусловлено: во-первых, экономической рациональностью, так как высокая стоимость ГТД оправдывает начальную стоимость установки для сварки, во-вторых, применение блиска вместо традиционных сборных рабочих колес позволило снизить массу конструкции на 30 % [1].

Реализуемые в настоящее время технологии ЛСТ предусматривают создание симметричного рельефа на обеих деталях, прибегая к сложной механической обработке (рис. 1).

Отказ от требования выполнять симметричный рельеф на обеих деталях

приведет к уменьшению трудоемкости изготовления свариваемых заготовок и увеличению коэффициента используемого материала.



Рис. 1. Наличие симметричного рельефа на заготовках лопатки и диска для ЛСТ [2]

Так при изготовлении деталей сложной формы (рис. 2), экономия затрат материала может составлять до 90 %, что приводит к уменьшению расчетной стоимости изделия до 80 % [3].

Научные работы по исследованию ЛСТ, в основном, посвящены изучению соединения деталей с симметричным рельефом относительно плоскости стыка. Однако обзор зарубежной литературы и патентной документации показал, что работы ведутся и сторону несимметричного рельефа.

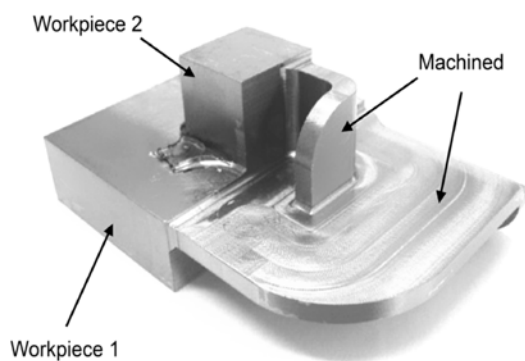


Рис. 2. Изготовление заготовки путем ЛСТ с последующей механической обработкой [4]

Компания Boeing запатентовала способы изготовления сварных конструкций [5–7], примеры из которых представлены на рис. 3. Настоящие патенты описывают методику ЛСТ деталей к необработанной плите втавр, в результате которой получают узел с максимально приближенными формой и размерами к окончательным значениям.

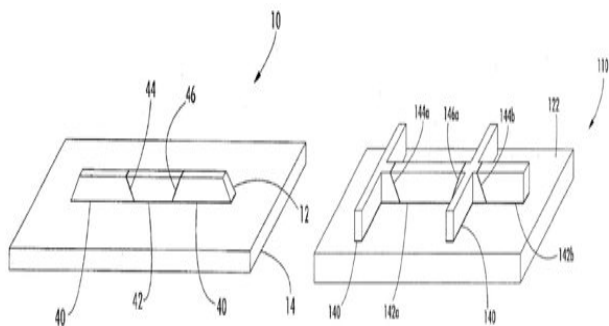


Рис. 3. Соединение деталей с несимметричным рельефом из патента компании Boeing [5]

Таким образом, по информации из патентов можно сделать вывод, что при сварке отсутствует требование формировать симметричный рельеф на плите, а также исходя из размеров стыка деталей достаточно применение маломощной установки для ЛСТ, которая дешевле относительно других установок.

В 2015 г. были опубликованы работы по исследованию ЛСТ с различной геометрией плоскости стыка. Первая из работ описывает исследование ЛСТ таврового соединения [8] (рис. 4).

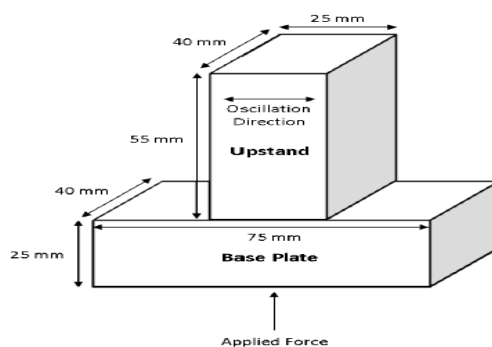


Рис. 4. Размеры образцов и схема получения таврового соединения при помощи ЛСТ [8]

Для этого была разработана двумерная модель с использованием пакета конечных элементов *DEFORM* для исследования сварки прямоугольной детали из материала Ti-6Al-4V (BT6) и пластины. По результатам моделирования установлено, что процессы при сварке с несимметричным рельефом отличаются от сварки с симметричным рельефом, наблюдается неравномерное вытеснение пластифицированного материала из зоны сварного шва в грат, поток материала в центре плоскости стыка ограничен в движении, градиент температуры в два раза больше со стороны прямоугольной детали, чем у пластины.

Вторая опубликованная работа направлена на получение зависимости влияния геометрии свариваемой детали на тепловые поля, поток материала и удаление загрязнений границы раздела во время сварки [9]. Для достижения данной цели были разработаны двумерные вычислительные модели с использованием метода конечных элементов (рис. 5) и выбраны параметры режима ЛСТ. Размеры деталей отличаются в плоскости поперечного сечения, что подразумевает в разности площадей в плоскости сварки. Расчет был проведен в программном обеспечении *DEFORM*, а также полученные результаты прошли верификацию посредством сравнения с данными эксперимента.

Анализ результатов моделирования и эксперимента показал, что ширина деталей в направлении колебаний оказала гораздо большее влияние на результаты экспериментальной сварки, чем площадь поперечного сечения.

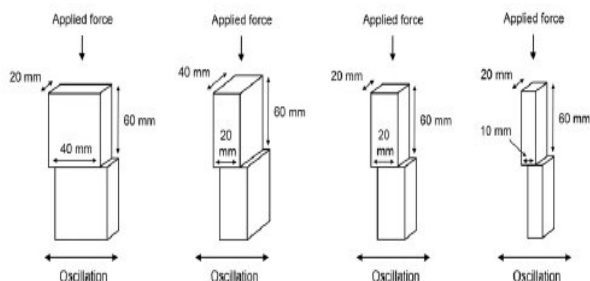


Рис. 5. Размеры деталей и расчетные схемы ЛСТ для получения зависимости влияния геометрии свариваемой детали на тепловые поля, потока материала и удаления загрязнений границы раздела [9]

Уменьшение ширины деталей в плоскости поперечного сечения увеличило скорость потока материала из поверхности раздела при уменьшении ее температуры, толщины зоны термического влияния и выделения необходимого для удаления загрязнения из плоскости раздела в грат. Кроме того, структурный анализ шлифов показал, что присутствует Видманштеттенова структура, которая становилась более тонкой по мере уменьшения ширины в плоскости.

Результаты работы на получение зависимости влияния геометрии свариваемой детали на тепловые поля, поток материала и удаление загрязнений границы раздела во время сварки предполагают, что необходимо при ЛСТ выбирать направление колебания деталей вдоль более короткого из двух размеров плоскости сварки. Это связано с тем, что вероятность потока материала, необходимого для удаления загрязнений из поверхности раздела в грат, вероятно, будет уменьшена. Следовательно, при одинаковом выделении материала при направлении колебания вдоль более короткой и длинной стороны фактор безопасности при удалении загрязняющих веществ выше при более короткой стороне. Кроме того, эти результаты также помогут снизить температуру поверхности раздела, что

может предложить дополнительные преимущества процесса ЛСТ.

Обзор отечественной литературы и патентной документации показал, что работ на данную тему не обнаружено.

Изучение ЛСТ включает в себя выявление основных физических процессов, таких как выделение и распространение тепла в свариваемых деталях, пластическое течение металла в зоне формирующегося соединения. Из вышеприведенных абзацев видно, что данные процессы ЛСТ деталей с несимметричным относительно плоскости стыка рельефом отличаются от симметричного. Таким образом, необходимо сравнить между собой эти процессы, выполнив следующие задачи:

- оценить баланс энергии в зоне формирующегося сварного соединения и температурного поля на основе анализа данных эксперимента;

- экспериментально исследовать влияние продолжительности сварки на макро и микроструктуру, механические свойства сварных соединений;

- выявить основные закономерности термических циклов сварки, кинетики изменений структуры и свойств сварных соединений в условиях несимметричных температурного и напряженно-деформированного состояний на основе анализа экспериментальных данных и результатов моделирования.

ВЫВОДЫ

1. Выяснено, что за рубежом ведутся исследования ЛСТ с несимметричным относительно плоскости стыка рельефом, у которой условия формирования соединения отличаются от сварки с симметричным рельефом.

2. Установлено, что конструктивные и технологические решения, предусматривающие наличие соединений с несимметричным рельефом, запатентованы.

3. Реализация технологии ЛСТ с несимметричным рельефом в Российской Федерации требует выявления закономерностей термических циклов сварки, кинетики изменений структуры и свойств сварных соединений на основе

оценки баланса энергии, температурного поля, исследования микро- и макроструктуры, и механических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **García AMM.** BLISK fabrication by linear friction welding / AMM. García // In: Benini E, editor. Adv Gas Turbine Technol. Winchester: InTech. – 2011. – P. 411–434.

2. **Market-oriented blisk manufacturing.** A challenge for production engineering. Martin Bußmann, Erwin Bayer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mtu.de/de/technologies/engineering_news/production/Bayer_Bliskfertigung.pdf. (дата обращения 10.11.2012).

3. **Allen J.** An investigation into the comparative costs of additive manufacture vs. machine from solid for aero engine parts / J. Allen // Cost Eff. Manuf. via Net Shape Process, Neuilly-Sur-Seine. – France. – 2006. – P. 17-1 – 17-10.

4. **Addison A. C.** Linear friction welding information for production engineering // TWI industrial members report – 961/2010. Cambridge (UK). – 2010.

5. **Slattery KT.** Structural assemblies and preforms therefor formed by linear friction welding. US2005/0127140 A1; 2005.

6. **Slattery KT.** Structural assemblies and preforms therefor formed by linear friction welding. US7225967; 2007.

7. **Slattery KT.** Method of making tailored blanks using linear friction welding. US2007/0084905 A1; 2007.

8. **Lee L. A.** 2D Linear Friction Weld Modelling of a Ti-6Al-4V T-Joint / L. A. Lee, A. R. McAndrew, C. Buhr, K. A. Beamish, P. A. Colegrove // Engineering Science and Technology Review. – 2015. – №8 (6). – P. 44-48.

9. **McAndrew A. R.** Modelling of the workpiece geometry effects on Ti-6Al-4V linear friction welds / A. R. McAndrew, P. A. Colegrove, A. C. Addison, B. C. Flipo, M. J. Russell, L. A. Lee // Materials and Design. – 2015. – №87. – P. 1087-1099.

ОБ АВТОРАХ

ГАТИЯТУЛЛИН Ильдар Маликович, аспирант. каф. МитЛП.

ГАЛИМОВ Виталий Рустемович, ассистент каф. МитЛП.

METADATA

Title: Application of linear friction welding for joining parts with asymmetric relief

Authors: I. M. Gatiyatullin¹, V. R. Galimov²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ rb.myyashik@gmail.com, ² houndedreaper@mail.ru

Language: Russian

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 30-33, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: This paper provides an overview of foreign and domestic literature on the current state of linear friction welding (LFW) parts with asymmetric relief. Advantages of LFW parts with asymmetric relief on LFW parts with sym-

metrical relief are considered. Purposes for further study of this area of LFW are assigned.

Key words: friction welding, linear friction welding, asymmetric relief, symmetric relief, overview.

About authors:

GATIYATULLIN, Ildar Malikovich, postgraduate student 2 year, Ufa state aviation technical University.

GALIMOV, Vitaliy Rustemovich, assistant Professor, Ufa state aviation technical University.