

УДК 621.791.14

СВАРКА ТРЕНИЕМ ПАНЕЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Кашук Николай Михайлович

*студент 6 курса кафедры «Технологии сварки и диагностики»
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Научный руководитель:

Макаров Эдуард Леонидович

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Постановка задачи

В последнее время все большее распространение получают трехслойные алюминиевые панели (рис. 1). Они широко применяются в вагоностроении, судостроении и аэрокосмической промышленности. Использование таких панелей позволяет значительно снизить массу конструкции, что обеспечивает малый расход топлива. Замена плит и балок на трехслойные алюминиевые панели возможна благодаря их высокой жесткости. Ширина прессованных панелей ограничена. Например, для двадцатиметровых панелей она составляет 600 мм. Поэтому возникает необходимость наращивать панели до требуемых размеров.

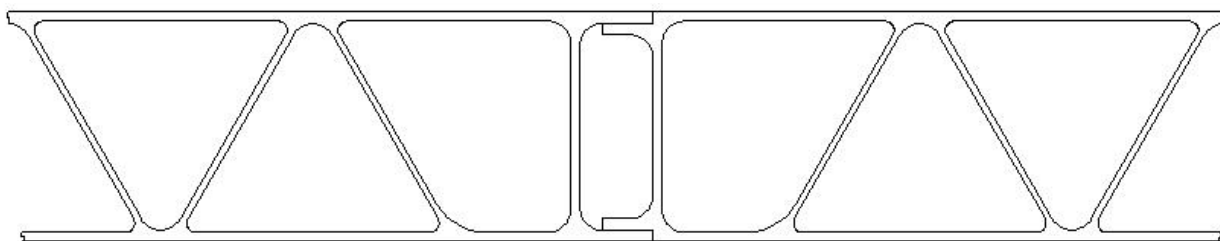


Рис. 1. Поперечное сечение трехслойной панели

Дуговая сварка помимо традиционных для сварки алюминия проблем, таких как пористость, холодные и горячие трещины в шве, приводит к значительному короблению панелей, обусловленному высоким тепловложением. Поэтому возникает необходимость использовать методы сварки, для которых характерно относительно малое тепловложение. При этом использование лазерной и электроннолучевой сварки требует обеспечения чрезвычайно малого зазора по всей длине панелей, что практически невыполнимо. Поэтому было предложено использовать относительно новый метод сварки - трением с перемешиванием (СТП) [1]. Данный метод получил широкое распространение при сварке алюминия в различных отраслях промышленности в России и за рубежом.

Схема процесса проста (рис. 2). Вращающийся инструмент 6, состоящий и опорного бурта 3 и рабочего стержня 4, погружается в зазор 2 между соединяемыми деталями 1А и 1В. После погружения инструмент, продолжая вращаться, перемещается вдоль стыка, образуя сварной шов 7. Тепла, выделяющегося при трении, достаточно для пластификации металла заготовок и вращающийся инструмент свободно «перемешивает» их, соединяя между собой. В результате получается сплошной шов со свойствами во многом превосходящими свойства шва, полученного дугowymi методами сварки [2].

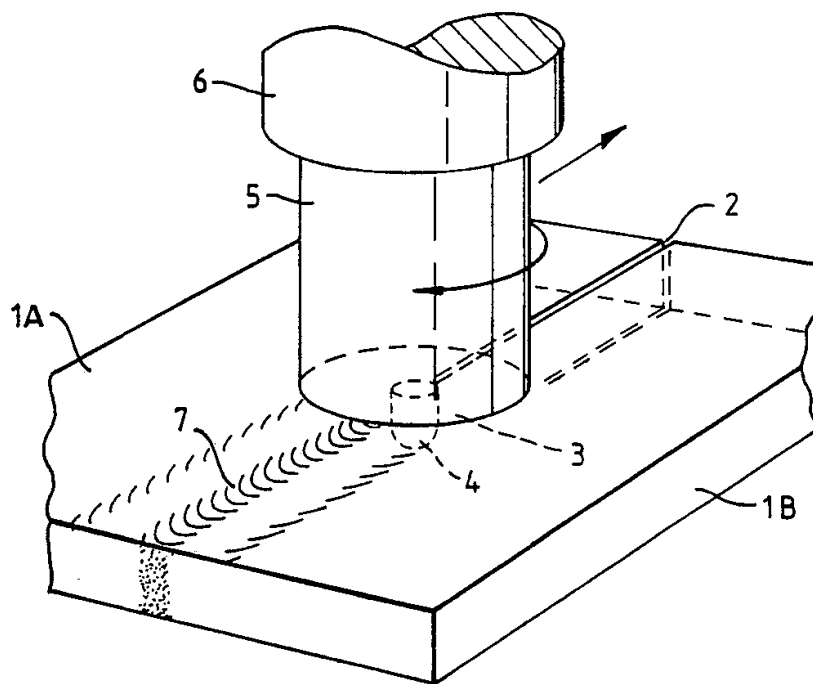


Рис. 2. Принципиальная схема процесса СТП

Основной отличительной чертой процесса СТП является то, что сварка проходит в твердой фазе, т.е. материал заготовок не плавится. Это дает процессу СТП значительные преимущества по сравнению с традиционной сваркой плавлением: отсутствие горячих, холодных трещин и порообразования, возможность сварки трудносвариваемых материалов, в том числе и в различных сочетаниях. Также отсутствие необходимости плавить металл при сварке позволяет вести процесс с малым тепловложением, что в свою очередь приводит к незначительному росту зерна в ЗТВ, малым остаточным деформациям и напряжениям, а также к меньшему разупрочнению при сварке термоупрочняемых алюминиевых сплавов. Кроме того процесс легко поддается автоматизации и обладает высокой экологичностью.

Экспериментальное подтверждение

Авторами были проведены исследования принципиальной возможности сварки панелей методом СТП. Предварительные исследования проводились на пластинах сплава АД31, аналогичного по химическому составу материалу АА6005 трехслойных панелей, применяющихся при производстве корпусов вагонов (табл.1).

Табл. 1. Химический состав сплавов АД-31 и АА6005, %

Марка сплава	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
АД31	0,2 – 0,6	0,5	0,1	0,1	0,45 – 0,9	0,1	0,2	0,15	Основа
АА6005	0,6 - 0,9	0,35	0,1	0,1	0,4 – 0,6	0,1	0,1	0,1	Основа

Эксперименты проводили с использованием модернизированного фрезерного станка марки FNGJ32 на производственной базе ОАО «НИАТ». Свариваемые пластины имели длину 180 мм, ширину 40 мм и толщину 2 мм. Сварку вели на различных режимах (рис. 3). После сварки образцы подвергали испытанию на загиб (рис. 4). В итоге были подобраны параметры процесса, обеспечивающие получение качественного бездефектного шва: режим «3» на рис. 3 и рис. 4.

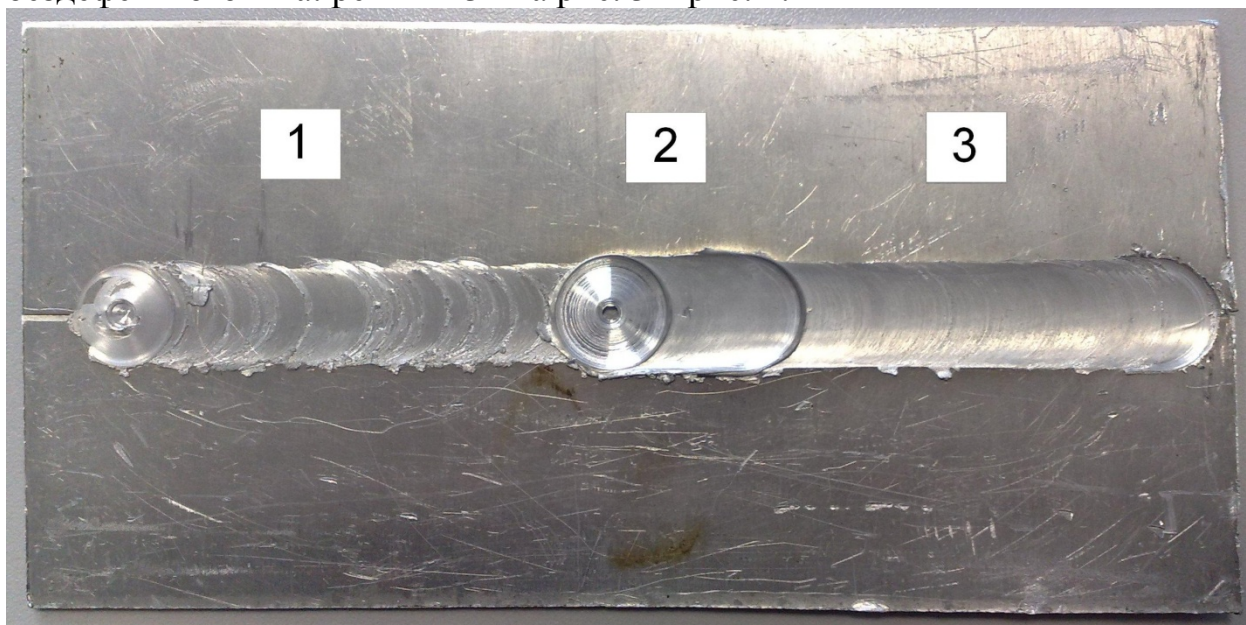


Рис. 3. Внешний вид сварного соединения. «1», «2» и «3» - участки шва, выполненные на различных режимах сварки

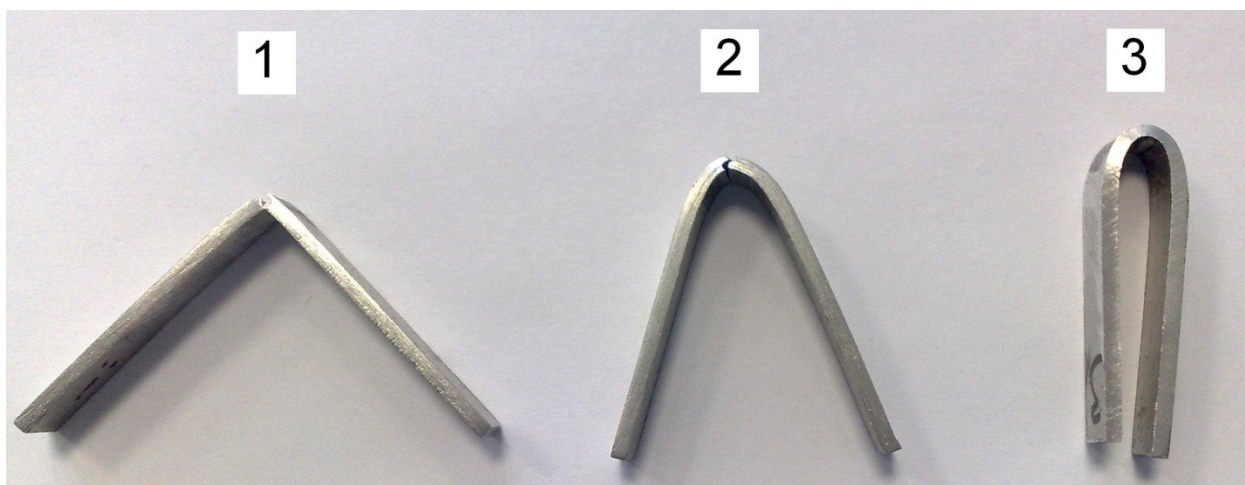


Рис. 4. Результаты испытаний на загиб образцов, сваренных на различных режимах

После того, как была показана принципиальная возможность получения качественного сварного соединения на сплаве АД-31, выполняли сварку натурального образца трехслойной алюминиевой панели. Две части панели собирали в замковое соединение и сваривали с двух сторон. С одной стороны выполнялся шов глубиной 4 мм, а с другой 6 мм.

Режимы сварки были скорректированы с учетом толщины свариваемых деталей, формы инструмента и геометрии конструкции. Сваренная панель (рис. 5) имеет размеры 430 x 520 x 50 мм.

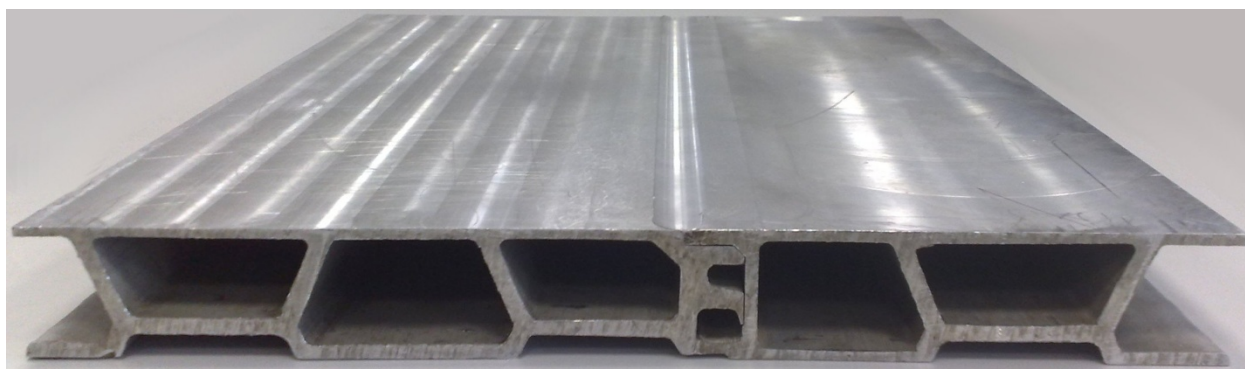


Рис. 5. Сваренная трехслойная алюминиевая панель

Расчет тепловложения

После того как была показана принципиальная возможность сварки трехслойных алюминиевых панелей методом СТП, авторами была проведена сравнительная оценка тепловложения при СТП и дуговой сварке. Удельное тепловложение можно рассчитать, зная мощность источника теплоты и скорость его движения:

$$Q = P/v,$$

где Q – удельное тепловложение, Дж/мм

P – мощность источника теплоты, Вт

v – скорость сварки, мм/с

При дуговой сварке неплавящимся электродом алюминиевых пластин толщиной 2 мм мощность теплового источника составляет [3]:

$$P_{\text{дуг}} = \eta \cdot I \cdot U = 0.9 \cdot 140 \text{ А} \cdot 20 \text{ В} = 2520 \text{ Вт},$$

где η – КПД сварочного источника, %

I – сила сварочного тока, А

U – напряжение на дуге, В

При СТП параметрами, влияющими на мощность источника теплоты, являются как минимум скорость сварки, скорость вращения и глубина погружения инструмента. В настоящее время не известно о прямых уравнениях для определения тепловложения в зависимости от этих трех факторов, поэтому мощность теплового источника при СТП определяли экспериментально. Для этого во время сварки замеряли ток на обмотках двигателя шпинделя станка, значение которого составило 5А. Считая, что КПД двигателя при нагрузке меньше номинальной равен 0,7 и напряжение в каждой фазе трехфазной сети составляет 220В, можно вычислить полезную мощность, потребляемую двигателем:

$$P_{\text{эд}} = \sqrt{3} \cdot \eta \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 0.7 \cdot 5 \cdot 220 = 1334 \text{ Вт}$$

С учетом потерь тепла в инструмент, которое составляет порядка 0,8 от полной вводимой мощности [4], можно рассчитать мощность теплового источника:

$$P_{\text{СТП}} = P_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{инстр}} = 1334 \cdot 0.8 = 1067 \text{ Вт}$$

Сравнивая мощности источников теплоты и тепловложение при СТП и дуговой сварке (табл. 2), можно сказать, что тепловложение, и следовательно остаточные деформации и напряжения, при СТП значительно ниже, чем при дуговой сварке. Кроме того, процесс СТП можно вести на больших скоростях сварки, что приведет к дополнительному уменьшению тепловложения.

Табл. 2. Сравнения мощности теплового источника и удельного тепловложения при дуговой сварке и СТП

Вид сварки	Мощность теплового источника, Вт	Скорость сварки, мм/с	Удельное тепловложение, Дж/мм
Дуговая сварка	2520	5	504
СТП	1067	3.5	304

Расчет максимальных температур

Для точного определения величины остаточных напряжений и деформаций применяются методы численного моделирования. Первым этапом решения такой задачи является построение тепловой модели процесса сварки и расчет термического цикла каждой точки заготовки. Тепловую

модель строили в программном комплексе «СВАРКА», разработанном на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана [5]. Разработанная модель позволяет на основе входных параметров (мощность источника теплоты, теплофизические свойства материала, размеры инструмента, размеры заготовок) определить температуру любой точки заготовки.

Геометрическая модель (рис. 6) включала в себя заготовку 1, стальную подкладку 2 и переходный слой 3 между ними, введенный для более точного описания теплоотвода в стальную подкладку. Также при моделировании учитывали теплоотдачу в воздух с поверхностей заготовки, зависимость теплофизических свойств материала от температуры и распределенный характер источника теплоты.

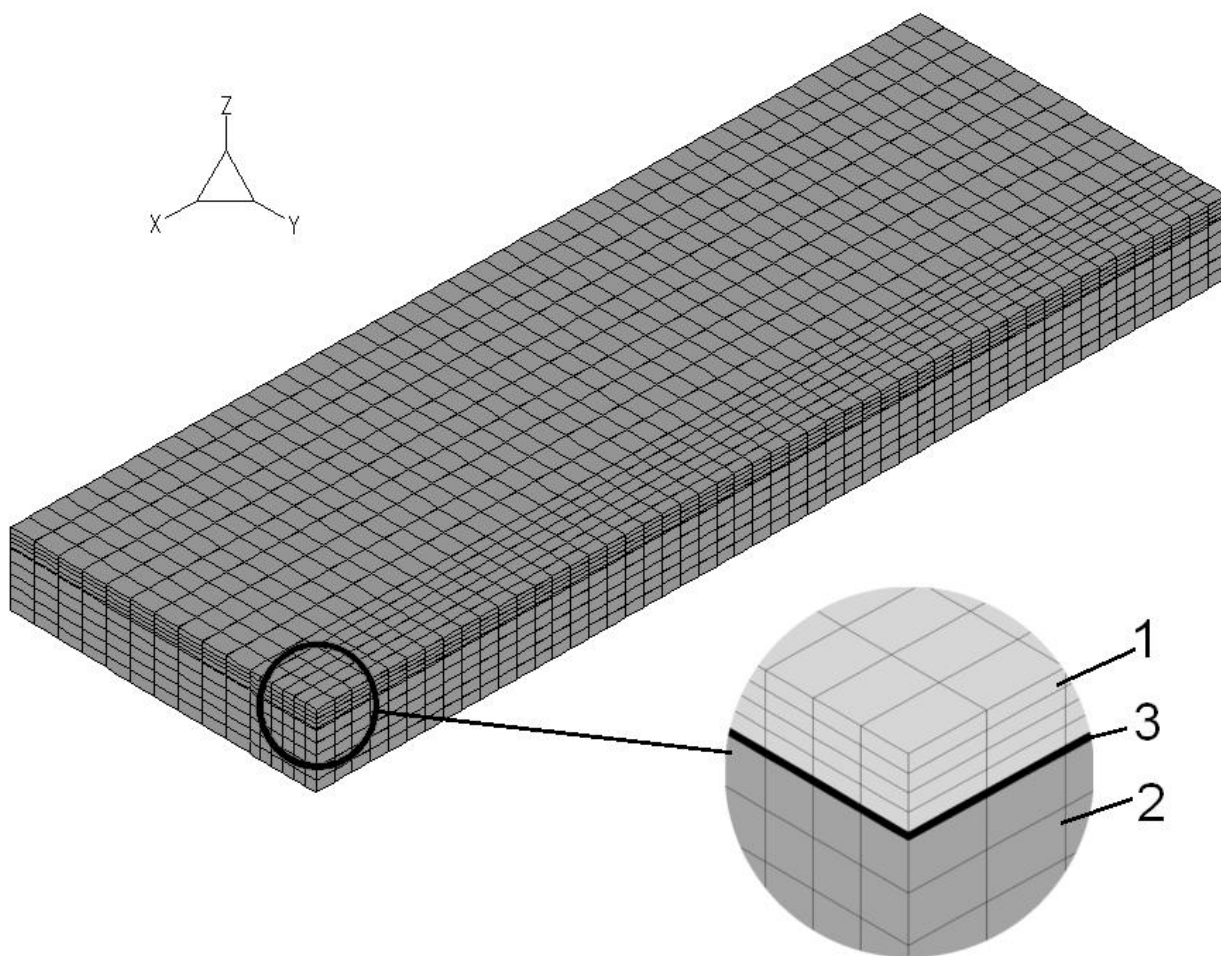


Рис. 6. Геометрическая модель (показана половина модели): 1 – заготовка; 2 – стальная подкладка; 3 – переходный слой.

Расчетные температуры сравнивали с экспериментальными данными, полученными измерением температуры заготовки в процессе сварки. По результатам сравнения был сделан вывод о достаточно высокой точности построенной модели (отклонение в пределах 5%).

Расчетные значения максимальных температур вдоль оси OY (рис. 6) на поверхности двухмиллиметровой пластины сплава АД31 для СТП и

дуговой сварки (для режимов, приведенных в табл. 2) показаны на рис. 7. Как видно из рисунка, максимальные температуры в пластине при дуговой сварке значительно выше, чем при СТП, особенно в области сварного шва.

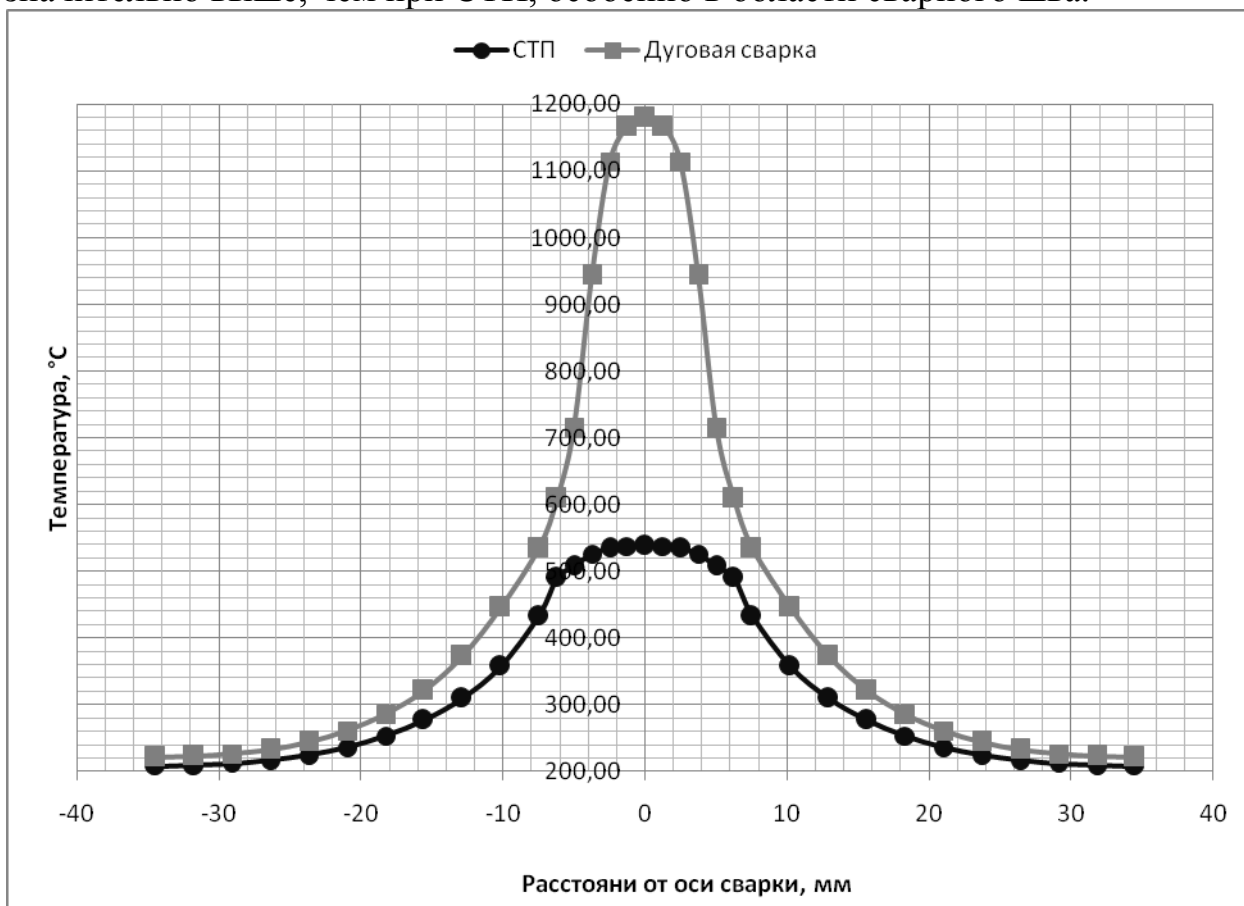


Рис. 7. Распределение максимальных температур по поверхности пластины сплава АД-31 вдоль оси OY при СТП и дуговой сварке

Выводы

Проанализированы причины коробления трехслойных алюминиевых панелей при дуговой сварке, обусловленные высоким тепловложением. Предложено вести сварку методом СТП, для которого характерно меньшее, чем при дуговой сварке тепловложение.

Экспериментально показана принципиальная возможность сварки трехслойных панелей методом СТП. На технологических образцах подобраны режимы сварки, обеспечивающие качественное формирование шва.

Расчет тепловых полей методом конечных элементов показал, что при СТП максимальные температуры нагрева заготовки, а следовательно и остаточные деформации, значительно ниже, чем при дуговой сварке.

В последующих работах авторами планируется перенести тепловую модель на геометрию трехслойной панели и провести расчет остаточных напряжений и деформаций при СТП и дуговой сварке.

Литература

1. Штрикман М.М. Состояние и развитие процесса СТП (аналитический обзор) Ч.3 // Сварочное производство. 2007. №11. С. 36 – 45.
2. Perinet R., Goussain J.C., Costa B.D. Comparison of the mechanical and corrosion behavior between friction stir welded joints and MIG welded joints in 7020 aluminium alloy // 5th International Symposium of friction stir welding. Metz (France), 2004.
3. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х томах/ Под ред. А.И. Акулова. Т. 1 – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
4. Heat Flow Into a FSW Tool / T. Dickerson, Q. Shi, H.R. Shercliff // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah (USA), 2003
5. Программный комплекс «Сварка» - инструмент для решения практических задач сварочного производства / Куркин А.С., Макаров Э.Л. // Сварка и диагностика. 2010. №1. С. 16 – 24.