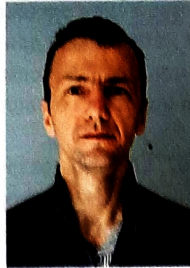


Стаценко В.Н.



Молоков К.А.

УДК 621.791.14

DOI: 10.52177/2071-5234_2024_06_28

Стаценко В.Н., д-р техн. наук,
Молоков К.А., канд. техн. наук
Дальневосточный федеральный университет

vladsta@mail.ru

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Представлены результаты расчетных исследований температурных полей при сварке трением с перемешиванием пластины из алюминиевого сплава АМгЗ. Для разработанной методики использованы экспериментальные данные по удельному тепловыделению в материале под инструментом в зависимости от его окружной скорости вращения и линейного перемещения. Расчетные данные сопоставлены с экспериментальными исследованиями температурных полей, после введения поправочных коэффициентов к определению тепловыделений произведены расчеты полей изотерм в диапазоне изменения скоростей вращения инструмента 40–100 рад/с и скоростей перемещения 0,4–1,7 мм/с. Результаты расчетов показали наличие двух максимумов температур под инструментом, наибольшее значение температуры проявляется не в зоне перемешивания, в области задней кромки инструмента.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, алюминиевый сплав, расчетная модель, экспериментальная проверка, скорости вращения и перемещения, температурные поля, максимумы

The article presents the results of calculation studies of temperature fields during friction stir welding of an aluminum alloy plate AMg3. For the developed method of calculation modeling of temperature fields, experimental data on specific heat generation in the material under the tool depending on its peripheral rotation speed and linear displacement were used. The calculation data were compared with experimental studies of temperature fields; after introducing correction factors for determining heat generation, calculations of isotherm fields were made in the range of tool rotation speeds of 40–100 rad/s and travel speeds of 0,4–1,7 mm/s. The calculation results showed the presence of two temperature maxima under the tool; the highest temperature value is not in the stirring zone, but in the area of the trailing edge of the tool.

Keywords: friction stir welding, aluminum alloy, calculation model, experimental verification, rotation and displacement speeds, temperature fields, maxima

Сварка трением с перемешиванием является достаточно новой технологией, реализованной в современном виде в 1991 г. [1]. С момента патентования способ сварки трением с перемешиванием (СТП) стал широко использоваться в разных областях промышленности для соединения сплавов, плохо свариваемых традиционными способами (алюминиевые сплавы, содержащие цинк, медь, литейные сплавы магния), металлов и сплавов, не образующих эвтектик и твердых растворов, а также вследствие его преимуществ в сравнении с другими способами соединения деталей путем сварки [2, 3].

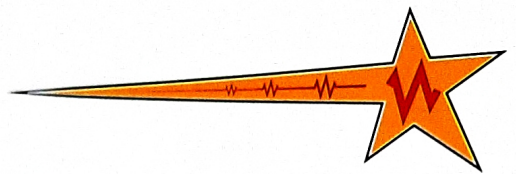
При сварке трением с перемешиванием (СТП) интенсивно происходят процессы деформирования и перемещения по сложной траектории нагретого до пластического состояния материала, механического измельчения его составляющих, рекристаллизации зерен, диффузии частиц и интенсивного перемещения дислокаций, в результате чего образуется неразъемное соединение в твердой фазе без расплавления основного материала. Эффективность протекания этих процессов в значительной степени зависит от тепловыделения в местах контакта рабочих поверхностей инструмента со свариваемым металлом и распределения температур в зоне нагрева, которые определяют физическую возможность пластического

течения разогретого материала и получения качественного формирования структуры шва.

Целенаправленному изучению тепловых процессов, происходящих при сварке трением с перемешиванием, посвящены многие работы отечественных и зарубежных исследователей. Большинство специалистов, исследующих этот вопрос, используют моделирование процесса для построения тепловых полей. Однако сообщаемые разными авторами результаты расчетов отличаются значительным разбросом значений максимальных температур нагрева в зоне сварки при СТП алюминиевых сплавов — от 450 до 660 °С [4, 5, 6, 7].

В настоящей работе представляются результаты расчетного исследования распределения температурных полей при сварке трением с перемешиванием при разных скоростях его вращения и перемещения. При этом использованы данные по тепловыделениям, полученные экспериментально. Материалом для сварки выбран алюминиевый сплав АМгЗ, широко применяемый в авиа- и кораблестроении.

Экспериментальное исследование тепловыделения при сварке трением с перемешиванием. Расчетное моделирование тепловых процессов сварке трением с перемешиванием неразрывно связано с величиной тепловыделения на поверхности рабочего инструмента, которое зависит от таких основных



факторов, как усилие прижатия инструмента, скорости его вращения и перемещения (сварки), угла его наклона, сочетания свариваемых материалов и инструмента.

В качестве материала для исследований выбран алюминиевый сплав АМгЗ. Он обладает средними показателями прочности и пластичности, отличной свариваемостью и антикоррозийной устойчивостью, используется для производства изделий цветного металлопроката методами холодной и горячей деформации. В качестве материала инструмента для сварки применялась инструментальная быстрорежущая сталь Р6М5.

Для исследования зависимости момента трения и тепловыделения от скорости вращения инструмента при точечной сварке, а также от скорости его перемещения при линейной сварке трением с перемешиванием были проведены эксперименты при окружных скоростях вращения в диапазоне $V = 0,4-1,2$ м/с и при скоростях сварки $V_{св} = 0-1,67$ мм/с.

Результаты экспериментальных исследований показывают следующее [8]. Зависимость удельного тепловыделения от окружной скорости вращения рабочего инструмента при разных скоростях сварки имеет экспоненциальную зависимость. При этом максимальные значения и интенсивность изменения удельных тепловыделений повышаются с увеличением скорости сварки. Эти данные подтверждаются исследованиями [9, 10] при сварке трением с перемешиванием, а также при стыковой сварке трением стержней из углеродистых сталей [11].

Аппроксимацией экспериментальных данных, полученная обобщенная формула расчета удельного тепловыделения (МВт/м²) в зависимости от окружной скорости вращения и линейного перемещения инструмента (скорости сварки) [8]

$$q_{стн} = k_1 V^2 + k_2 V + k_3, \quad (1)$$

где коэффициенты

$$k_1 = -5,198 V_{св} - 0,97, \quad (2)$$

$$k_2 = 6,83 V_{св} + 3,36,$$

$$k_3 = 0,099 V_{св} - 0,0072.$$

Здесь V — окружная скорость вращения, м/с; $V_{св}$ — скорость сварки, мм/с.

С увеличением скорости сварки оптимальная окружная скорость вращения снижается в соответствии с зависимостью

$$V = -0,426 V_{св} + 1,387. \quad (3)$$

Методика расчетного моделирования температурных полей. Математическое моделирование в сочетании с другими видами исследований позволяет воссоздать наиболее полную картину физико-механических процессов, протекающих при сварке трением с перемешиванием.

Точное количественное определение тепловыделения в зоне сварки трением с перемешиванием, получаемое с помощью расчетных моделей, затруднено из-за наличия ряда неточностей, допущений и упрощений, присутствующих в математическом описании процесса. В связи с этим в данной работе предлагается альтернативный подход, основанный на использовании данных по удельным тепловыделениям, полученные экспериментально.

При этом математическая модель рассматривается по схеме движущегося точечного источника в предельном состоянии [12, 13].

Для описания неоднородности тепловыделения под инструментом, инструмент в зоне трения представляли как совокупность элементарных источников нагрева находящихся в центре элементарных площадок и геометрически равномерно распределенных по площади контакта рабочей поверхности инструмента (рис. 1). Для построения полей весь свариваемый элемент разбивали дискретно точками, их количество составляло $x_n \times y_m \times z_k$ по всем трем осям области размером $[-N_1; +N_2]$ и $[-L_1; +L_2]$ и $[0; +del]$ от центра подвижной системы координат.

Каждый источник имел свое значение тепловыделения пропорциональное его окружной скорости V с учетом линейной скорости сварки $V_{св}$. Тогда температурное поле рассчитывается как сумма температур от вклада каждого элементарного точечного источника под инструментом. Количество $m \times n$ источников выбирали (100×100) в которых и находилась вписанная окружность инструмента диаметра d_0 . Такого количества достаточно для получения графиков изотерм высокого качества.

Окружную скорость движения элементарных источников с учетом линейной скорости сварки определяли векторным сложением скоростей

$$\overline{V_{отн}} = \overline{V_i} + \overline{V_{св}} \approx \omega \cdot r_i \pm V_{св}. \quad (4)$$

Эта скорость имеет разные значения на верхней и нижней половинах площади инструмента (рис. 1) относительно оси ox . Однако, как показал далее численный эксперимент, ввиду малости $V_{св}$ по сравнению с окружной скоростью $\overline{V_i}$, разница в скоростях $\overline{V_{отн}}$ невелика и не оказывает существенного влияния на степень несимметричности полей относительно оси ox . Это влияние более заметно при малых скоростях вращения ω , больших скоростях сварки $V_{св}$ и малом радиусе ($d_0/2$) инструмента.

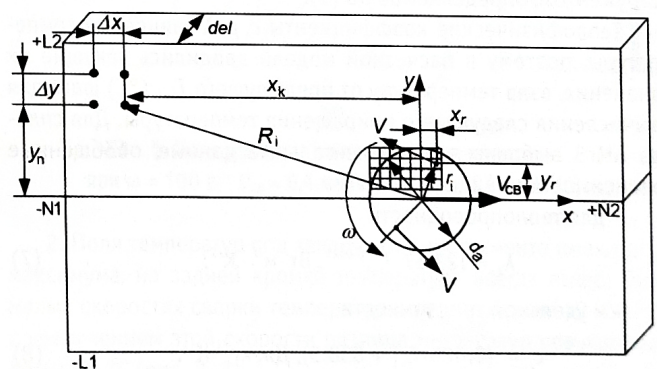


Рис. 1. Схематическое представление вращающегося инструмента с сеткой точечных мгновенных источников

Температура в каждой ячейке находится по зависимости [12, 13]

$$T_i = \frac{1}{2\pi\lambda} \sum_{i=1}^{x_n \times y_m \times z_k} \frac{W_i}{R_i} e^{-\frac{V_{св} \cdot c \rho}{2\lambda} (x_i + R_i)}, \quad (5)$$

где λ — теплопроводность, Вт·м⁻¹·К⁻¹; c — теплоемкость, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; ρ — плотность, кг·м⁻³.

Тепловыделение в каждой точке под инструментом, рассчитывается по зависимости

$$W_i = q_i \cdot S_i, \text{ кВт}, \quad (6)$$

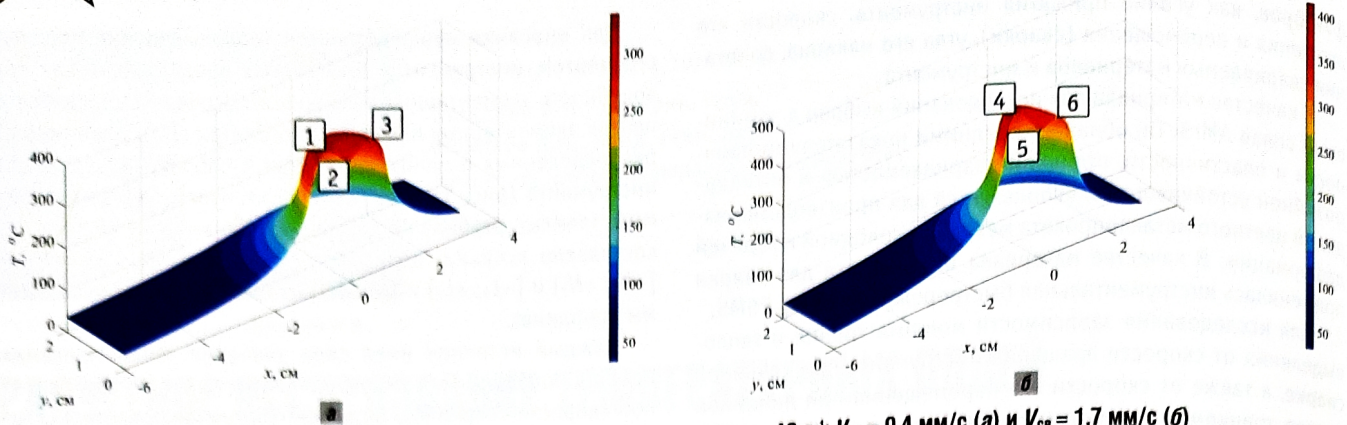
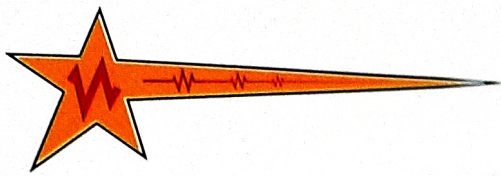


Рис. 2. Температурные поля на поверхности пластины при $\omega = 40 \text{ с}^{-1}$: $V_{\text{св}} = 0,4 \text{ мм/с}$ (а) и $V_{\text{св}} = 1,7 \text{ мм/с}$ (б)

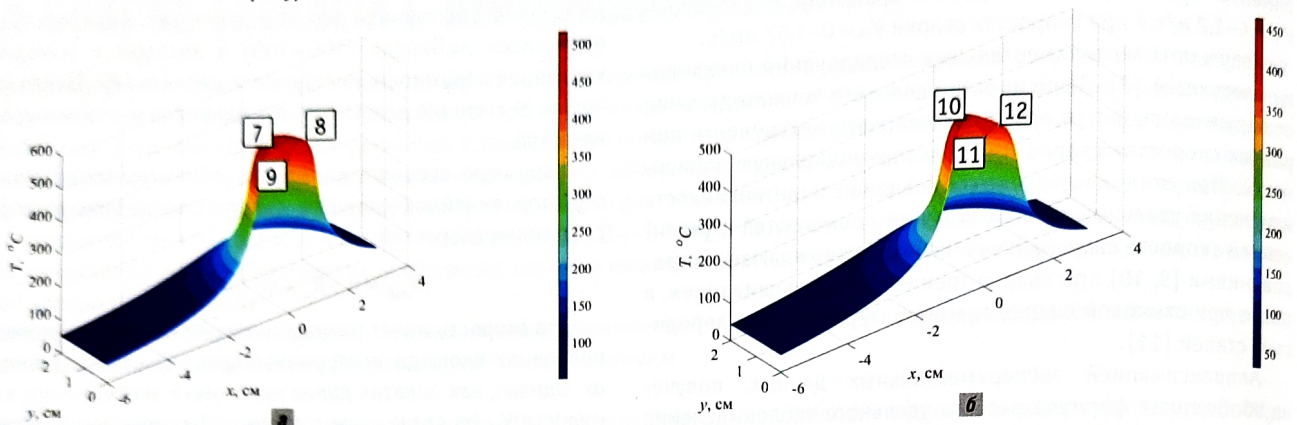


Рис. 3. Температурные поля на поверхности пластины при $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$: $V_{\text{св}} = 0,4 \text{ мм/с}$ (а) и $V_{\text{св}} = 1,7 \text{ мм/с}$ (б)

где S_i — элементарная площадка под инструментом в центре которой действует элементарный точечный источник, м^2 ; q_i — удельное тепловыделение (кВт/м^2) на этой площадке под инструментом, определяемое по (1).

Теплофизические коэффициенты c , ρ , λ зависят от температуры, поэтому в расчетной модели вводились текущие их значения, взяв температуру от предыдущего T_{i-1} ($^{\circ}\text{C}$) шага для вычисления следующего приращения температуры. Для сплава АМгЗ выбраны экспериментальные данные, обобщенные зависимостями вида

– для теплопроводности

$$\lambda_i = 123,67 \cdot T_{i-1}^{0,0423}, \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}; \quad (7)$$

– и удельной теплоемкости

$$c_i = (0,425 \cdot T_{i-1} + 838,5), \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}. \quad (8)$$

Значение плотности оставалось постоянным $\rho = 2660 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Верификация температурных полей. Для верификации расчетных данных проведены экспериментальные исследования распределения температур в пластине из алюминиевого сплава АМгЗ вокруг инструмента и под ним [14]. Исследования проведены на лабораторном стенде, в котором на пластине толщиной 4 мм закреплены 8 термопар, расположенных вдоль одной линии, находящейся в поперечном сечении относительно направления движения вращающегося инструмента. Инструмент для моделирования процесса сварки трением с перемешиванием и нагрева рабочей пластины имел заплечик диаметром 22 мм. Для измерения сигналов от термопар использовался аналогово-цифровой преобразователь «Термодат22М5». По данным изменения температур от разных термопар по времени для задан-

ной скорости перемещения инструмента определялись координаты нахождения разных изотерм и их геометрия. Результаты исследований приведены в виде экспериментальных полей температур пластины при скоростях вращения инструмента 52 и 90 рад/с и сварки 0,4 и 1,63 мм/с .

Основным результатом проведенных исследований является то, что при малых скоростях сварки (0,4–0,7 мм/с) максимальная расчетная температура материала в зоне перемешивания практически совпадает с экспериментальной (500 $^{\circ}\text{C}$ и 510–520 $^{\circ}\text{C}$).

При более высоких скоростях сварки отличие этих температур более значительно. Экспериментально установлено, что наибольшее значение температуры наблюдается не в зоне перемешивания вокруг пина, а в области задней кромки инструмента. В экспериментах также значительно выражена асимметрия изотерм относительно линии сварки [14].

При сопоставлении расчетных и экспериментальных данных по значениям максимальных температур в центральном сечении получены поправочные коэффициенты расчета тепловыделений при разных скоростях вращения инструмента и сварки.

При линейной аппроксимации уравнение этого коэффициента (при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,99$) имеет следующий вид

$$k_n = -0,0027\omega - 0,3917 V_{\text{св}} + 1,3121, \quad (9)$$

где ω — скорость вращения инструмента, с^{-1} ; $V_{\text{св}}$ — скорость сварки, мм/с .

С помощью этого коэффициента вводится поправка в расчет тепловыделений в каждой расчетной точке под инструментом в

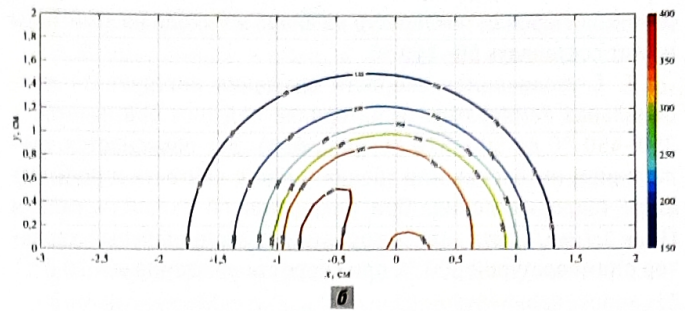
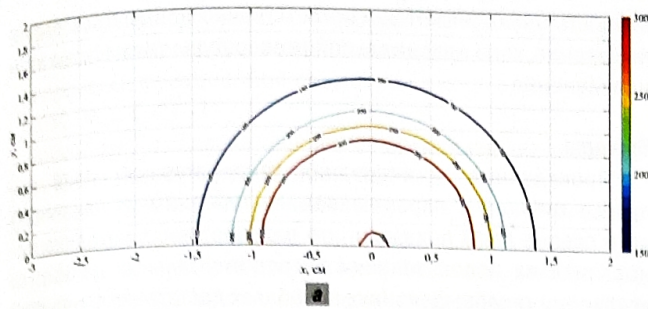
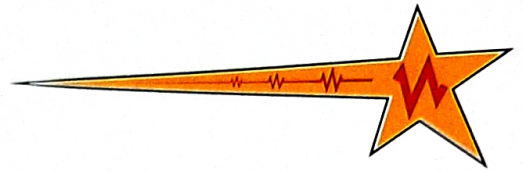


Рис. 4. Поля изотерм на поверхности пластины при $\omega = 40 \text{ с}^{-1}$: $V_{\text{св}} = 0,4 \text{ мм/с}$ (а) и $V_{\text{св}} = 1,7 \text{ мм/с}$ (б)

уравнении (6). После введения поправки на тепловыделения максимальная расчетная температура материала в зоне перемешивания практически совпадает с экспериментальной (табл. 1), ошибка для разных режимов составляла не более 3%.

Таблица 1
Сопоставление максимальных расчетной и экспериментальной температур

№ реж.	Режим		$T_{\text{максэксп}}$, °C	$T_{\text{максрасч}}$, °C	Δ , %
	ω , с^{-1}	$V_{\text{св}}$, мм/с			
1	90	1,63	500	507	1,4
2	90	0,4	520	505	3
3	52	1,63	460	475	3
4	52	0,7	450	456	1,3

Результаты расчетных исследований. Математическое моделирование в сочетании с другими видами исследований позволяет воссоздать наиболее полную картину физико-механических процессов, протекающих при такого вида сварке.

При проведении вычислений по разработанной математической модели выбраны следующие режимы для инструмента с диаметром заплечика 22 мм, диапазонов скорости его вращения $\omega = 40\text{--}100 \text{ с}^{-1}$ и скорости сварки $V_{\text{св}} = 0,42\text{--}1,67 \text{ мм/с}$, материал рабочей пластины — алюминиевый сплав АМг3 толщиной 4 мм.

Результаты расчетов приведены на графиках в виде трехмерных полей температур (рис. 2–3) и изотерм на поверхности рабочей пластины (рис. 4–5), шаг между изотермами составляет 50 °C.

Аналогичные поля изотерм получены при скоростях вращения инструмента $\omega = 60$ и 80 с^{-1} и скоростях сварки $V_{\text{св}} = 0,7, 1$ и $1,3 \text{ мм/с}$.

Значения координат и температур в точках экстремумов (рис. 4–5) приведены в табл. 2.

Таблица 2
Значения координат и температур в точках экстремумов (рис. 2–3)

№	x , см	y , см	T , °C	№	x , см	y , см	T , °C
1	-0,6	0,1	334	7	-0,5	0	518
2	0	0	295	8	0	0	465
3	0,6	0	323	9	0,6	0	499
4	-0,7	0	412	10	-0,6	0	463
5	0	0	342	11	0	0	398
6	0,5	0	355	12	0,4	0	411

Анализ этих данных показывает следующее:

1. Изотермы вокруг инструмента образуют концентрические окружности, вытянутые в направлении, противоположном скорости сварки (рис. 4–5). Аналогичные результаты получены в [15, 16].

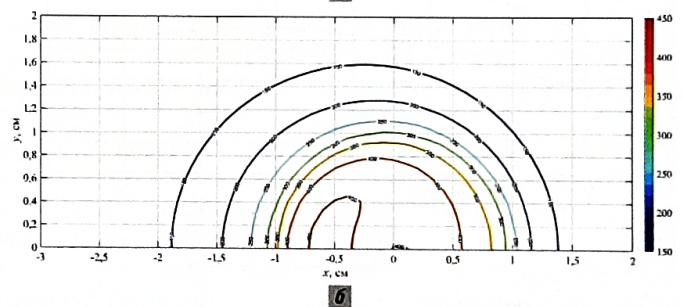
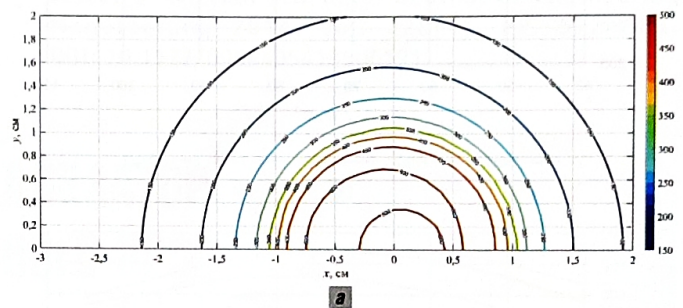


Рис. 5. Поля изотерм на поверхности пластины при $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$: $V_{\text{св}} = 0,4 \text{ мм/с}$ (а) и $V_{\text{св}} = 1,7 \text{ мм/с}$ (б)

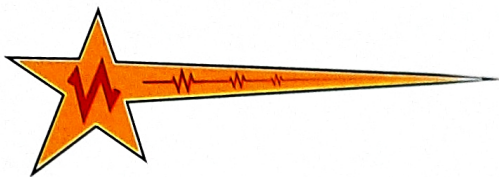
2. Поля температур под заплечиком инструмента имеют два максимума, на задней кромке температура всегда выше. При малых скоростях сварки температуры отличаются на 12–20 °C, с увеличением этой скорости разница температур повышается до 40–60 °C (рис. 2–3).

3. В зоне оси вращения инструмента имеется минимум температур, ее значение ниже максимального при малых скоростях сварки на 40–50 °C, при увеличении этой скорости разница температур увеличивается до 70–80 °C. Этот эффект объясняется низкой окружной скоростью вращения в зоне оси вращения инструмента и, соответственно, пониженным трением.

4. Координата максимума температуры в зоне задней кромки составляет 0,6–0,7 от радиуса заплечика инструмента, в зоне передней кромки — 0,5–0,6 от радиуса заплечика.

5. На передней кромке инструмента температуры не превышают 300 °C, на задней кромке температура достигает 350–500 °C для разных режимов.

6. Температура материала в зоне перемешивания (в области центра инструмента) составляет 330–460 °C для разных



режимов, перепад температур на входе и выходе из этой зоны может составлять 50–140 °С.

7. С увеличением скорости вращения инструмента максимальная температура в материале под ним повышается с 350–450 °С до 500–570 °С (рис. 6, а). Это объясняется увеличением интенсивности трения в месте контакта и повышением тепловыделения. При максимальной скорости сварки ($V_{св} = 1,7$ мм/с) эта зависимость имеет экстремальный характер с температурой 500 °С при скорости вращения $\omega = 70$ с⁻¹.

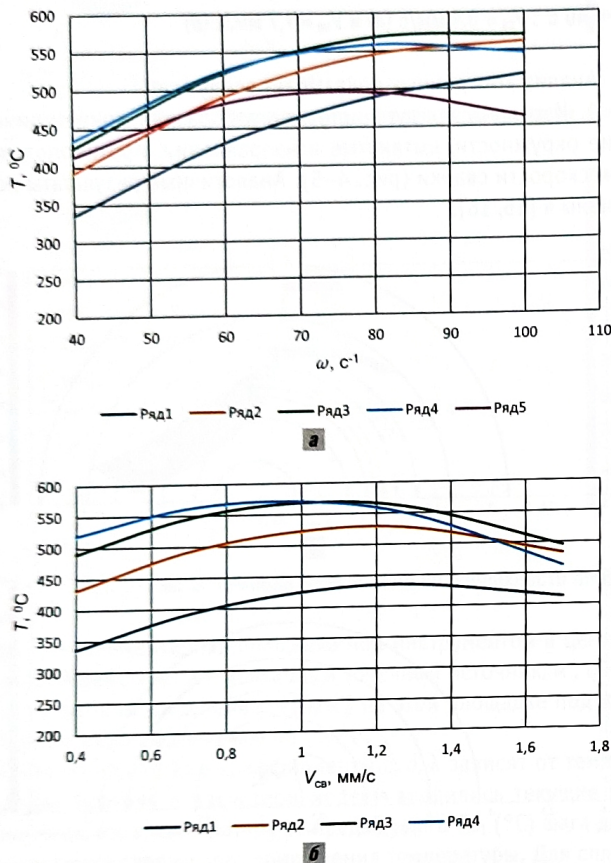


Рис. 6. Изменение максимальных температур на поверхности пластины при изменении скорости вращения инструмента (а):

1 – $V_{св} = 0,4$ мм/с; 2 – 0,7 мм/с; 3 – 1,0 мм/с; 4 – 1,3 мм/с;

5 – 1,7 мм/с; при изменении скорости сварки (б):

1 – $\omega = 40$ с⁻¹; 2 – 60 с⁻¹; 3 – 80 с⁻¹; 4 – 100 с⁻¹

8. С увеличением скорости сварки значения максимальной температуры в материале под инструментом имеют экстремальный характер (рис. 6, б). Максимумы имеют значения 450–570 °С в диапазоне скоростей сварки $V_{св} = 1–1,2$ мм/с. Дальнейшее понижение температур объясняется более интенсивным охлаждением пластины при более высокой скорости сварки.

9. Асимметрия изотери относительно средней линии сварки, выявленная в экспериментах [13], слабо выражена в результатах расчета. Это смещение максимальной температуры (асимметрия) объясняется совместным влиянием относительной скорости вращения и сварки. При совпадении направленных векторов окружной скорости вращения в зоне ячейки и скорости сварки (рис. 1) скорости вычитаются, при противоположных направлениях векторов скорости складываются. При противоположных направлениях векторов относительная

скорость увеличиваются, соответственно повышается тепловыделение, зона максимальной температуры смещается в этом направлении.

Выводы

Проведенные исследования температурных полей при сварке трением с перемешиванием пластины из алюминиевого сплава АМг3 показали, что разработанная методика, основанная на использовании экспериментальных данных по удельному тепловыделению, позволяет достаточно точно прогнозировать распределение температур в зоне сварки.

Численное моделирование выявило наличие двух пиков температуры под инструментом с понижением температуры в области центра вращения инструмента. Наличие их объясняется сложным взаимодействием скоростей вращения инструмента и его перемещения.

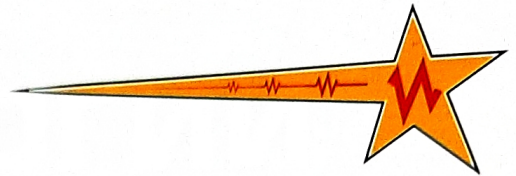
Основным результатом расчетов является то, что максимальное значение температуры и наибольшее пластичное состояние свариваемого материала наблюдается не в центре инструмента вокруг пина, где происходит перемешивание, а в области задней кромки инструмента за пином, где перемешивание уже закончилось. Небольшое смещение максимального значения относительно средней линии сварки в направлении, противоположном вращению инструмента, объясняется совместным влиянием скоростей вращения и сварки.

Полученные данные по вычислениям и измерениям температурного поля в свариваемых деталях дают возможность оперативно прогнозировать степень нагрева и его состояние в зонах исследуемой области и получить представление об изменении температур в процессе сварки в тех зонах исследуемой области, где очень сложно или невозможно измерить температуру.

Особую важность эти данные имеют при разработке конструкции, геометрии и технологических схем инструмента для сварки трением с перемешиванием.

Список литературы

1. Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Temple-Smith P., Dawes C.J. Friction stir butt welding. GB Patent № 9125978.8. International patent application PCT/GB92/02203. 1991.
2. Штрикман М.М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (Обзор) // Сварочное производство, 2007. № 10. С. 25–32.
3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты». М: Машиностроение, 1990. 288 с.
4. Майстренко А.Л. Моделирование тепловых процессов для улучшения структуры металлов и сплавов методом трения с перемешиванием / В.М. Нестеренков, В.А. Дутка, В.А. Лукаш, С.Д. Заболотный, В.Н. Ткач // Автоматическая сварка, 2015. № 1. С. 5–14.
5. Клопотов А.А. Структурно-фазовое состояние и моделирование распределения температурных полей при сварке трением с перемешиванием в сплаве АМг6 / Ю.А. Абзаев, А.И. Потеекаев, В.А. Клименов, К.А. Курган, В.Д. Клопотов, Е.С. Марченко // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2018. Т. 15, № 3. С. 416–423.



6. Ерофеев В.А., Карпунин Е.В., Логвинов Р.В. Исследование физических явлений при воздействии инструмента на металл в процессе фрикционной сварки // Сварка и Диагностика, 2010. № 1. С. 27–33.
7. Котлышев Р.Р. Сварка трением с перемешиванием. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2012. 137 с.
8. Стаценко В.Н. Тепловые процессы при сварке трением с перемешиванием. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2022. 120 с. DOI: <https://doi.org/10.24866/7444-5191-2>.
9. Weglowski M.St., Pietras A. Friction stir processing — analysis of the process. Archives of metallurgy and materials, 2011. Volume 56. Issue 3. PP. 779–788. DOI: 10.2478/v10172-011-0086-9.
10. Jefferson Pew, Torque W.A Based Power Input Model for Friction Stir Welding, 2006. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/1100>.
11. Руководящий технический материал «Сварка трением в автомобилестроении» (РТМ 37.002.0365-82). Челябинск, 1982. 107 с.
12. Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке. 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 572 с.
13. Стаценко В.Н., Негода Е.Н., Суханов М.А. Моделирование температурных полей в процессе сварки трением с перемешиванием. Вестник Инженерной школы ДВФУ, 2021. № 3(48). С. 21–28. DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-8>.
14. Стаценко В.Н., Вьюн Д.О., Кулик А.В., Полуцкий К.А. Верификация температурных полей в процессе сварки трением с перемешиванием. Вестник Инженерной школы ДВФУ, 2023. № 4 (57). С. 73–82. <https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/aca/1w4nzk9ajpkz8ydkda53yoba4y35mihk/2023-4-57-71-80.pdf>.
15. Derazkola Hamed Aghajani Simulation of Tool Rotation and Travelling Speed Effects on Friction Stir Welding of Ti-6Al-4V // Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production, 2019. Vol. 8, No. 2. PP. 39–56.
16. Zhengwei Zhang, Zhao Zhang and Hongwu Zhang Numerical investigations of size effects on residual states of friction stir weld. Journal of Engineering Manufacture, 2014. Vol. 228(4). PP. 572–581. DOI: 10.1177/0954405413506191.



РАЦИОНАЛИЗАТОР СВАРОЧНОГО ПРОЦЕССА

11 ноября 85-летие отметил руководитель Вятского аттестационного центра, доктор технических наук и специалист высокого класса в области оптимизации режимов и управления процессами сварки Валерий МЕЛЮКОВ

Валерий Васильевич родился в 1939 году в деревне Прилуки Архангельской области. В 1963-м оканчивает Горьковский политехнический институт им. Жданова по специальности «Оборудование и технологии сварочного производства» и направляется на завод им. XX партийного съезда в г. Киров. Спустя 4 года переходит на преподавательскую работу на кафедру «Теоретическая механика» Кировского политехнического института, а еще через 5 лет поступает в заочную аспирантуру института металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, в лабораторию академика Николая Николаевича Рыкалина, где в 1980 году с успехом защищает кандидатскую диссертацию на тему «Оптимальное управление тепловыми процессами при электронно-лучевой сварке». В 1993-м В.В. Мелюков защищает докторскую диссертацию, тема — «Оптимизация теплового режима обработки материалов подвижными концентрированными источниками на основе решения обратной задачи».

В 2006 году в Вятском государственном университете открывает выпускающую кафедру «Технологии сварки и механика материалов», которая дала более 100 специалистов в области оборудования и технологии сварочного производства, а также — машин и технологий высокоэффективных процессов обработки материалов.

Валерий Васильевич — автор двух учебных пособий, более 110 научных трудов, порядка двух десятков авторских свидетельств и патентов на изобретение, награжден почетной грамотой Министерства общего и профессионального образования, почетной грамотой Администрации г. Кирова, нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

**От всей души поздравляем Валерия Васильевича с юбилеем,
желаем и впредь оставаться активным, полным идей и проектов.
Успехов Вам в решении поставленных задач, крепкого здоровья Вам и Вашей семье!**

Коллективы СРО Ассоциация «НАКС» и Вятского аттестационного центра