

Моделирование процессов получения соединений листовых материалов на основе сплавов титана и алюминия способом сварки трением с перемешиванием

Неменёнок Б.М.¹, Рафальский И.В.², Лущик П.Е.^{2, 3}, Радченко А.А.³,
Бубен Д.В.³, Адепу Кумар⁴

¹Белорусский национальный технический университет, ²Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ³ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» ГНУ «ИПМ НАН Беларуси», ⁴Национальный технологический институт (г.Варангаль, Индия)

Исследованы процессы получения соединений листовых материалов на основе сплавов титана и алюминия способом сварки трением с перемешиванием (СТП) средствами компьютерного моделирования. Результаты численного моделирования процесса СТП позволили установить распределение температур и напряжений в свариваемых разнородных материалах с учетом влияния различных параметров процесса СТП, конфигурации инструмента и его положения в пространстве.

При моделировании сварки трением с перемешиванием используются различные численные методы вычислений, в том числе конечных элементов, конечных объемов, конечных разностей. Использованный в численных методах математический аппарат основан на тепловых [1], термомеханических [2, 3], гидродинамических [4, 5], механики деформируемого твердого тела [6-8], концептуальных [9] и кинематических [10] моделях, которые разрабатывались исследователями собственными силами или были встроены в компьютерные системы моделирования технологических процессов, такие как Abaqus, COMSOL, Fluent, Deform-3d, CTH, Forge3D, Ansys, Nisa, Star-ccm, iStir, Stir3d, Fidap, Sysweld, Cosmos, Hickory, Thercast, Fastflo, и Weldsim.

Моделирование физических процессов соединения материалов при использовании метода сварки трением с перемешиванием, как правило, реализуется на основе следующих математических подходов:

- 1) Произвольный метод Лагранжа-Эйлера (МЛЭ);
- 2) Поэтапный метод Лагранжа;
- 3) Метод Эйлера.

Для численного анализа поставленной задачи была разработана термо-механически связанная трехмерная конечно-элементная модель с жестким поведением вязко-пластичного материала для расчета на основе метода Лагранжа. Сложность данной задачи существенно возрастает ввиду использования разнородных материалов при сварке, в связи с чем необходима точная валидация и верификация разработанной модели с использованием натурального эксперимента.

Для решения поставленной задачи была выбрана система имитационного моделирования технологических процессов Deform-3D. По полученной трехмерной модели была построена конечно-элементная модель системы, состоящей из двух пластин, основания и инструмента без оправки (для ускорения расчета) (рисунок 1). Модель инструмента была задана абсолютно жесткой, однако в отличии от основания имеет объемную конечно-элементную сетку для полноценного расчета теплопередачи. Конечно-элементная сетка инструмента имеет минимальный размер ячеек 1 мм с общим числом конечных элементов – 4972. Модели пластин сплавов алюминия и титана изначально строились с более мелкой сеткой для увеличения схожести расчетов, при этом Deform 3D способен автоматически локально перестраивать сетку (измельчать или укрупнять) для снижения вероятности возникновения ошибок расчета.

Теплофизические данные свариваемых материалов задавались по отдельности на основе литературных данных и значений из библиотеки материалов программного обеспечения. Практический интерес представляет сварка промышленных сплавов, поэтому в модели в качестве материалов выбраны алюминиевый сплав АД31 (Al6063) и титановый сплав Ti6Al4V.

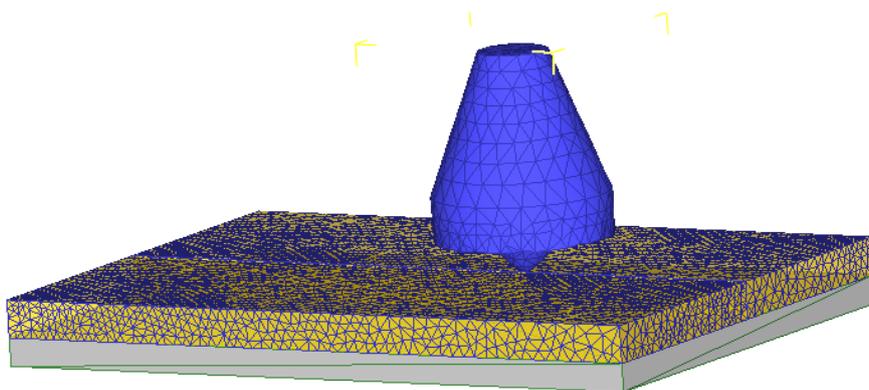


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель инструмента

Результаты моделирования распределения температур и напряжений при моделировании сварки трением разнородных материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык) представлено на рисунках 2, 3.

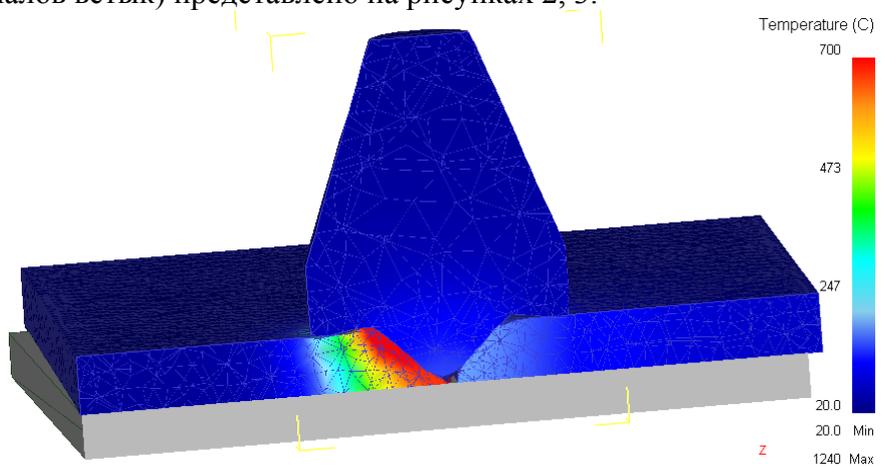


Рисунок 2 – Распределение температур при моделировании сварки трением разнородных материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык)

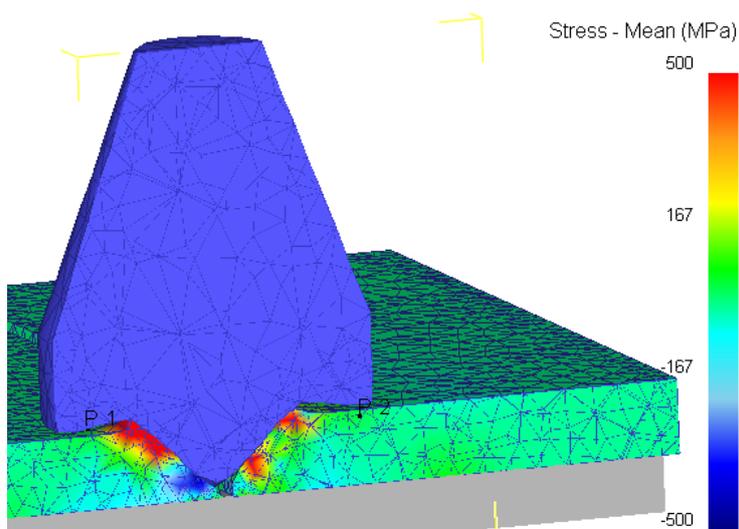


Рисунок 3 – Распределение главных напряжений при моделировании сварки трением материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык)

Анализ результатов моделирования показал, что обязательным условием для проведения качественного процесса СТП на основе сплавов титана и алюминия является уклон ин-

струмента. Для выбранных скоростей вращения инструмента оптимальной с точки зрения минимизации разрушений и появления дефектов сварки являются значения в области 900 об/мин. Снижение скорости вращения до 700 об/мин существенно не приводит к изменениям в ряде случаев, однако может способствовать падению температуры на отдалении инструмента от начальной точки.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Г19ИНДГ-007 «Исследование межфазного взаимодействия и формирования структуры зерна в швах, полученных сваркой трением, для различных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов с титановыми сплавами».

Литература

1. Nourani, M. Taguchi Optimization of Process Parameters in Friction Stir Welding of 6061 Aluminum Alloy: A Review and Case Study / M. Nourani, A.S. Milani, S. Yannacopoulos // Engineering. – 2011. – Vol. 3, No. 2. – pp. 144–155.
2. Schmidt, H. A Local Model for the Thermomechanical Conditions in Friction Stir Welding / H. Schmidt, J. Hattel // Model. Sim. Mater. Sci. Eng. – 2005. – Vol. 13, No. 1. – pp. 77-93
3. Chen, C. Finite Element Modeling of Friction Stir Welding-Thermal and Thermomechanical Analysis / C. Chen, R. Kovacevic // Inter. J. Mach. Tool. Manuf. – 2003. – Vol. 43, No. 13, pp. 1319-1326.
4. Long, T. Process Response Parameter Relationships in Aluminium Alloy Friction Stir Welds / T. Long, W. Tang, and A.P. Reynolds // Sci. Tech. Weld. Join. – Vol. 12, No. 4. – pp. 311–318.
5. Arora, A. Strains and Strain Rates during Friction Stir Welding / A. Arora, Z. Zhang, A. De, T. Debroy, // Scrip. Mater. – 2009. – Vol. 61, No. 9. – pp. 863–866.
6. Fratini, L. Using a Neural Network for Predicting the Average Grain Size in Friction Stir Welding Processes / L. Fratini, G. Buffa, D. Palmeri // Comp. Struc. – 2009. – Vol. 87, No. 17-18. – pp. 1166–1174.
7. Zhang, Z. Numerical Studies on Controlling of Process Parameters in Friction Stir Welding / Z. Zhang, H.W. Zhang // J. Mater. Proc. Tech. – 2005. – Vol. 9. – pp. 241–270.
8. Azimzadegan, T. Thermo-mechanical Modeling of Friction Stir Welding / T. Azimzadegan, S. Serajzadeh // Int. J. Mater. Research. – 2010. – Vol. 101, No. 3. – pp. 390–397, 2010.
9. Colligan, K.J. A Conceptual Model for the Process Variables Related to Heat Generation in Friction Stir Welding of Aluminum / K.J. Colligan, R.S. Mishra // Scrip. Mater. – 2008. – Vol. 58, No. 5. – pp. 327–331.
10. Heurtier, P. Mechanical and Thermal Modelling of Friction Stir Welding/ P. Heurtier, M.J. Jones, C. Desrayaud, J.H. Driver, F. Montheillet, D. Allehaux // J. Mater. Proc. Technol. – 2006. – Vol. 171, No. 3. – pp. 348–357.