

Особенности лазерной сварки сэндвич-композиционных металл-полимерных материалов

С.П. Мурзин
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
Венский технический университет
Вена, Австрия
murzin@ssau.ru

Х. Пальковски
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
Клаустальский технический
университет
Клаусталь-Целлерфельд, Германия
heinz.palkowski@tu-clausthal.de

А.А. Мельников
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
melnickov.alex@yandex.ru

Е.А. Носова
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
eanosova@mail.ru

М.В. Блохин
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
m.v.blokhin@yandex.ru

Аннотация—Осуществлена лазерная сварка образцов сэндвич-композиционных металл-полимерных материалов, изготовленных из двухфазной стали DPK 30/50+ZE толщиной 0,48 мм и полипропилен-полиэтиленовой пленки толщиной 0,3 мм в качестве материала сердцевины. Для двусторонней стыковой сварки композиционных сэндвич-панелей использовался Nd:YAG лазер ROFIN StarWeld Manual Performance с длиной волны 1,06 мкм. Установлено, что при выбранных параметрах лазерной сварки структура центрального полипропилен-полиэтиленового слоя оставалась практически неизменной. Перераспределяя плотность мощности и энергию пучка с помощью дифракционных оптических элементов свободной формы возможно улучшить качество сварного соединения. В этом случае возникновение и влияние возможных остаточных деформаций и напряжений должно быть исследовано.

Ключевые слова— лазерная сварка, композиционная сэндвич-панель, сварное соединение, оптический элемент.

1. ВВЕДЕНИЕ

Сэндвич-панели являются перспективными композиционными материалами. Они сочетают в себе преимущества используемых мономатериалов, что приводит к улучшению свойств, которые не может обеспечить каждый мономатериал в отдельности [1, 2]. Меньший вес сэндвич-панелей по сравнению с монометаллическими листами приводит к экономии топлива в автомобильной и аэрокосмической технике [3, 4]. Кроме того, благодаря сниженной теплопроводности и низкой электропроводности полимерного материала между металлическими слоями, они обеспечивают демпфирование вибраций, а также теплоизоляционный эффект. Комбинируя эти материалы с армирующими элементами при проектировании различных компонентов, можно компенсировать недостаток жесткости и прочности сэндвич-панелей [5, 6].

При производстве многослойных композиционных деталей на основе полимеров, например, для автомобильной промышленности, возможности термического склеивания ограничены из-за нестабильности полимерной сердцевины при повышенных температурах [7]. Поэтому такие материалы

требуют особого подхода к их сварке. Одним из способов преодоления этой проблемы является совершенствование существующих технологий, таких как лазерная сварка, которая используется для изготовления деталей и узлов различных машин и систем. Достаточно широкие технологические возможности определяются следующими свойствами лазерного излучения: гибкое управление энергетическими и временными характеристиками, возможность оптимизации параметров в широком диапазоне.

Полимерная сердцевина композиционного материала имеет тенденцию разрушаться под воздействием высокой температуры, и ее свойства могут значительно ухудшиться [8]. В [9] была исследована сварка композиционной системы сталь-полимер-сталь с помощью CO₂-лазера, и было установлено, что происходит чрезмерное испарение центрального слоя, что приводит к ухудшению характеристик этих многослойных материалов. В [10] импульсная лазерная сварка поочередно с двух сторон использовалась, чтобы уменьшить деградацию полимерного ядра для соединения тонких металл-полимерных материалов, в которых толщина металлических слоев составляла не более 0,25 мм. В соединении наблюдались трещины из-за высокой скорости охлаждения, которая поддерживалась для предотвращения деградации полимерного слоя. Однако было отмечено, что возможно устранение трещин, как и увеличение толщины свариваемых сэндвич материалов. Для этого необходимы дополнительные изучения, а исследования в этой области выглядят многообещающими.

Целью данного исследования является изучение возможности лазерной сварки сэндвич-композиционных металл-полимерных материалов без значительной деградации полимерного основного слоя.

2. ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБРАЗЦОВ

Осуществлена лазерная сварка трехслойных образцов "металл-полимер-металл", изготовленных из двухфазной стали DPK 30/50+ZE толщиной 0,48 мм и полипропилен-полиэтиленовой пленки (ПП-ПЭ) толщиной 0,3 мм в качестве материала сердцевины. Для двусторонней

стыковой сварки композитных сэндвич-панелей использовался Nd:YAG лазер ROFIN StarWeld Manual Performance с длиной волны 1,06 мкм.

Основные технические характеристики лазера ROFIN StarWeld: средняя мощность одного импульса - 50 Вт; максимальная энергия одного импульса - 100 Дж; длительность импульса - 0,5-50 мс; частота следования импульсов - 0,5-50 Гц. Для лазерной сварки применялись дифракционные оптические элементы свободной формы. Определены параметры лазерной обработки. Было установлено, что наилучшие результаты достигаются при лазерной сварке с энергией импульса 5 Дж при длительности импульса 3,5 мс и частоте следования импульсов 4,8 Гц. Конфигурация импульса лазера ROFIN StarWeld Manual Performance была выбрана с увеличенным передним фронтом импульса.

Были выбраны параметры лазерной сварки, при которых структура ПП-ПЭ оставалась практически неизменной. Разрушение сварного соединения происходило только при приложении силы. Поверхность излома была изучена при различных увеличениях с помощью сканирующего электронного микроскопа, и было установлено, что ее структура практически однородна. Мелкозернистый волокнистый излом без блеска свидетельствует о потенциально достаточно хорошей пластичности и высокой ударной вязкости металлического материала. Толщина сварного шва варьировалась от 50 мкм до 100 мкм и составляла около 50 % толщины верхнего стального слоя. Почти вся энергия лазерного импульса была сосредоточена в сварном шве, практически не достигая слоя ПП-ПЭ.

Таким образом, показана возможность двусторонней стыковой сварки металл-полимер-металл композитных сэндвич-панелей без значительной деградации основного полимерного слоя. Имеется целесообразность улучшения качества и прочности сварного соединения. Одним из самых простых методов получения широкого сварного шва с более низкими требованиями к выравниванию кромок является сварка с расфокусировкой. Перераспределение плотности энергии пучка предоставляет возможность достичь желаемой структуры сварного соединения. Однако в этом случае увеличение погонной энергии может быть причиной повышения остаточных максимальных деформаций. Применяя дифракционные оптические элементы свободной формы [11] возможно формировать заранее заданный профиль плотности мощности и энергии в фокальной плоскости. Необходимо исследовать возникновение и влияние возможных остаточных деформаций и напряжений. Это открывает новые возможности для управления свойствами сварного соединения [12] и перспективы лазерной сварки сэндвич-панелей "металл-полимер-металл".

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осуществлена двусторонняя стыковая лазерная сварка трехслойных образцов сэндвич-композитных металл-полимерных материалов, изготовленных из двухфазной стали DPK 30/50+ZE и полипропилен-полиэтиленовой пленки. Для сварки композитных сэндвич-панелей использовался Nd:YAG лазер ROFIN StarWeld Manual Performance с длиной волны 1,06 мкм. Определено, что двусторонняя сварка стыков металл-полимер-металл

композитных сэндвич-панелей без значительной деградации центрального полимерного слоя осуществима при следующих параметрах: энергия импульса 5 Дж, длительность импульса 3,5 мс и частота следования импульсов 4,8 Гц.

Перераспределяя плотность мощности и энергии пучка возможно улучшить качество сварного соединения. Формируя лазерную энергию дифракционные оптические элементы свободной формы предоставляют возможность формировать заранее заданный профиль плотности мощности и энергии в фокальной плоскости. В этом случае возникновение и влияние возможных остаточных деформаций и напряжений должно быть исследовано.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Harhash, M. Experimental characterization, analytical and numerical investigations of metal/polymer/metal sandwich composites – Part 2: Free bending / M. Harhash, R.R. Gilbert, S. Hartmann, H. Palkowski // *Composite Structures*. – 2020. – Vol. 232. – P. 111421. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111421.
- [2] Castanie, B. Review of composite sandwich structure in aeronautic applications / B. Castanie, C. Bouvet, M. Ginot // *Composites Part C: Open Access*. – 2020. – Vol. 1. – P. 100004. DOI: 10.1016/j.jcomc.2020.100004.
- [3] Vijaya Ramnath, B. Review on sandwich composite and their applications / B. Vijaya Ramnath, K. Alagaraja, C. Elanchezhian // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 16. – P. 859-864. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.05.169.
- [4] Forcellese, A. Mechanical properties and formability of metal-polymer-metal sandwich composites / A. Forcellese, M. Simoncini // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2020. – Vol. 107(7-8). – P. 3333-33491. DOI: 10.1007/s00170-020-05245-6.
- [5] Selvaraj, R. Experimental and numerical studies on dynamic performance of the rotating composite sandwich panel with CNT reinforced MR elastomer core / R. Selvaraj, M. Ramamoorthy, A.B. Arumugam // *Composite Structures*. – 2021. – Vol. 2771. – P. 114560. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.114560.
- [6] Deepak, S. Vibration analysis of metal-polymer sandwich structure incorporated in car bonnet / S. Deepak, K. Vigneshwaran, N. Vinoth Babu // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 912(211). – P. 0220363. DOI: 10.1088/1757-899X/912/2/022036.
- [7] Khalili, S. Flexural properties of sandwich composite panels with glass laminate aluminum reinforced epoxy facesheets strengthened by SMA wires / S. Khalili, R.E. Farsani, P. Mahajan // *Polymer Testing*. – 2020. – Vol. 89. – P. 106641. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106641.
- [8] Buffa, G. Solid state joining of thin hybrid sandwiches made of steel and polymer: A feasibility study / G. Buffa, D. Campanella, A. Forcellese, L. Fratini, M. Simoncini // *Procedia Manufacturing*. – 2020. – Vol. 47. – P. 400-405. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.315.
- [9] Salonitis, K. CO₂ laser butt-welding of steel sandwich sheet composites / K. Salonitis, P. Stavropoulos, A. Fysikopoulos, G. Chryssolouris // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2013. – Vol. 69. – P. 245-256. DOI: 10.1007/s00170-013-5025-7.
- [10] Gower, H.L. Pulsed laser welding of metal-polymer sandwich materials using pulse shaping / H.L. Gower, R.R.G.M. Pieters, I.M. Richardson // *Journal of Laser Applications*. – 2006. – Vol. 18(1). – P. 35-41. DOI: 10.2351/1.2080307.
- [11] Murzin, S.P. Analysis of the advantages of laser processing of aerospace materials using diffractive optics / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy, C. Stiglbrunner // *Metals*. – 2021. – Vol. 11(6). – P. 963. DOI: 10.3390/met11060963.
- [12] Мурзин, С.П. Селективная модификация двухфазной стали DP 1000 лазерным воздействием с применением дифракционного оптического элемента / С.П. Мурзин, М.В. Блохин // *Компьютерная оптика*. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 773-779. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-773-779.