

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА РАЗНО- И ОДНОИМЕННЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ЛАМИНАТОВ РЕЕК И РЕІ

Д. ТЯНЬ², В.О. АЛЕКСЕНКО¹, Д.Г. БУСЛОВИЧ¹, С.В. ПАНИН^{1,2}

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

²Томский политехнический университет

E-mail: defan1@tpu.ru

Ультразвуковая сварка (УЗС) получила широкое распространение для соединения деталей из термопластов, в том числе волокноно-армированных композитов на их основе (ламинатов), благодаря своей скорости, энергоэффективности и экономичности [1]. В установках для УЗС используются ультразвуковые колебания частотой 20–40 кГц при невысокой амплитуде перемещения сонотрода (10-50 мкм) [3–4]. Под действием УЗ-колебаний механическая энергия поступает на линию соединения свариваемых деталей, вызывая фрикционный нагрев. Прилагаемое усилие прижима действует на расплав полимера, вызывая взаимную диффузию молекулярных цепей.

Для более равномерного распределения контактного давления в зоне сплавления Takeda и другие [5] использовали проводники энергии (Energy Director ED) в форме сеток. Brito C.B. et al. показали [2], что в случае несоосности свариваемых поверхностей (композиты), соединение с сетчатым проводником энергии (ED) обладает прочностью на сдвиг (LSS) в 2 раза выше по сравнению с пленочным (сплошным) ED.

Целью работы являлось исследование возможности применения 3D-печати ED из полиэфиримида (PEI) и полиэфирэфиркетона (PEEK) на структуру и свойства ультразвуковых неразъемных соединений внахлест на основе одинаковых и разных ламинатов PEI и PEEK.

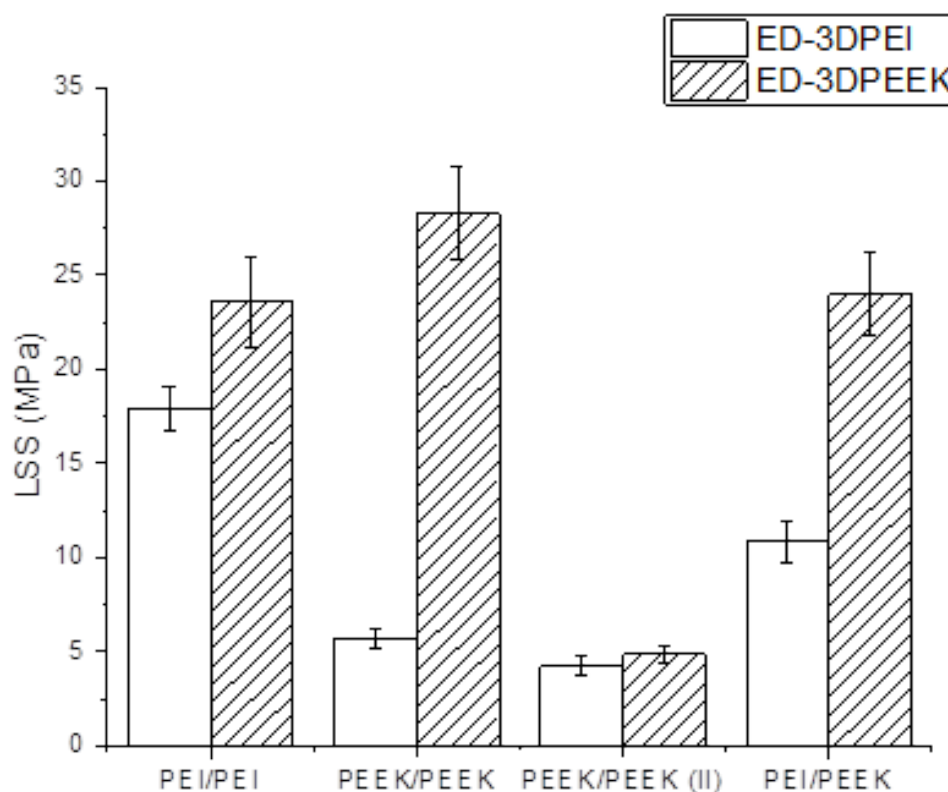


Рисунок 1. Значения LSS неразъемных соединений ламинатов на основе PEI и PEEK с двумя типами ED, изготовленными 3D-печатью

Углекомпози́ты на основе PEI изготавливали путем послойной укладки пленок PEI (Solver, Китай) и двунаправленной углеродной ткани ACM C285S (UMATEX, РФ) в пресс-форму с последующим горячим прессованием при температуре 330 °C и давлении 10 МПа. ED изготавливали из филамента PEI (Kexcelled, Китай) на промышленной установке (3D-принтере) "3D LIFE THERMO" для печати высокоэффективными полимерами и композитами по технологии FDM/FFF (ООО ЗДЛАЙФ, Россия). Внутреннее заполнение ED составляло 15 %. Для ультразвуковой сварки использовали станок УЗПС-7 (ООО «СпецмашСоник», Россия). Оценку прочности на межслоевой сдвиг LSS соединенных внахлест пластин проводили согласно ASTM D5868 (ГОСТ Р 57066). Испытания проводили на разрывной электромеханической машине Instron 5582. Скорость перемещения подвижного захвата составляла 13 мм/мин. Исследование топографии поверхности проводили на оптическом микроскопе Neophot 2 (Carl Zeiss Jena, Германия), оборудованном цифровой камерой Canon EOS 550D (Canon Inc., Япония).

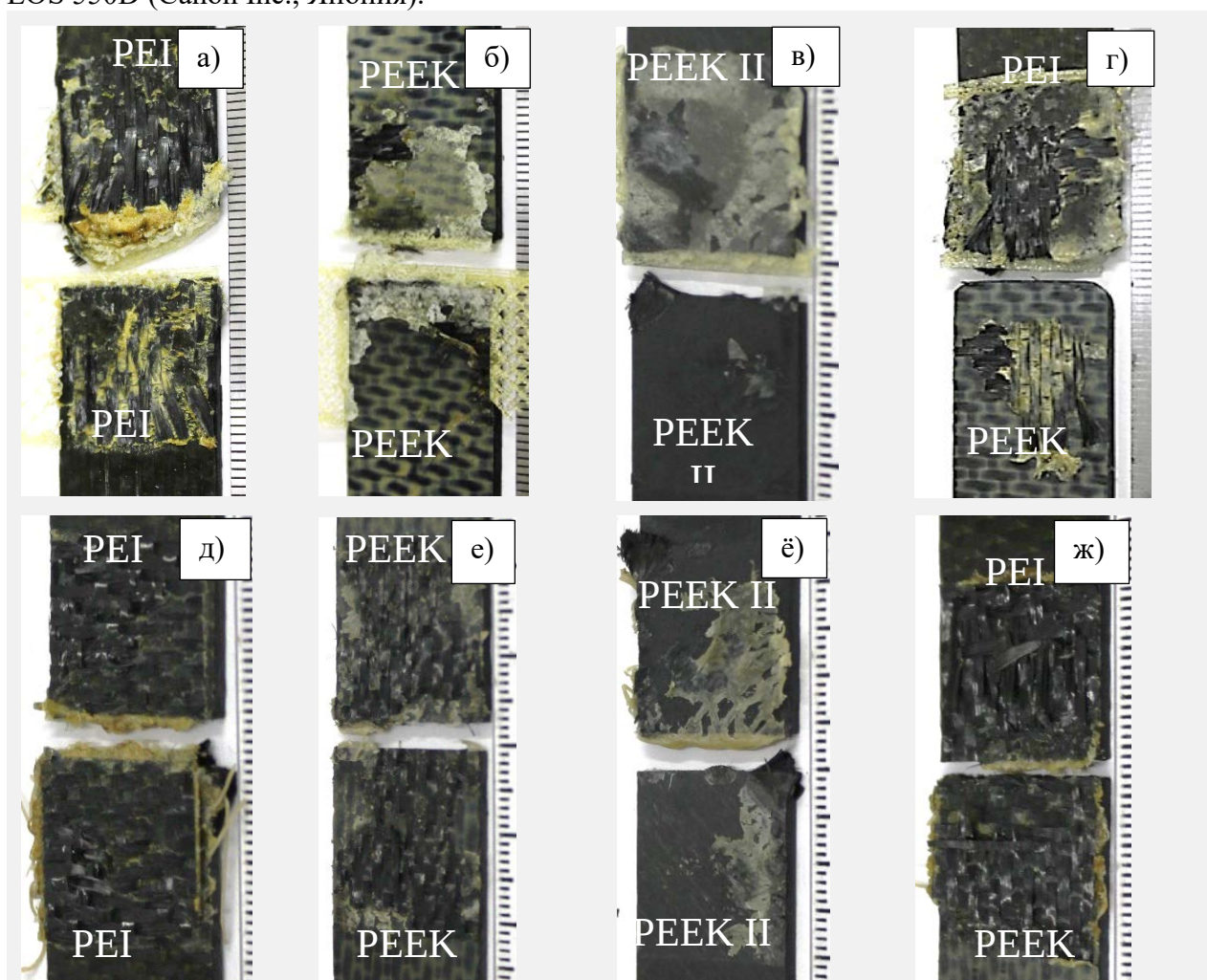


Рисунок 2. Фотографии разрушенных УЗ- соединений внахлест:
а, б, в, г – ED-3DPEI; д, е, ё, ж – ED-3DPEEK

На рисунке 2 представлены фотографии разрушенных сварных соединений слоистых углекомпози́тов на основе PEI и PEEK с проводниками энергии двух типов: ED-3DPEI и ED-3DPEEK. Для образцов с максимальными значениями LSS (преимущественно с ED-3DPEEK) наблюдался когезионный тип разрушения, в том числе сопровождавшийся локальным разрушением УВ в составе верхнего слоя композита (рисунок 2, д, е, ж). Подобный тип разрушения наблюдался и в соединениях внахлест, показавших меньшие значения LSS

(рисунок 2 а, б) в случае использования ED-3DPEI (когда один или оба компонента композита были из PEI-ламината). Для образцов с минимальными значениями LSS характерен адгезионный тип разрушения (рисунок 2 б, в, ё), чему соответствовало недостаточное сплавление компонентов композита.

В соединяемые комбинации входили: PEI/PEI; PEEK/PEEK; PEEK(II)/PEEK(II), где символ II соответствует ламинату из промышленно выпускаемых препрегов. На рисунке 1 представлены результаты оценки LSS указанных пар композитов для двух типов 3D-напечатанных ED: 3D-PEI и 3D-PEEK с плотностью заполнения 15%. Из рисунка 1 видно, что во всех случаях максимальными значениями LSS обладают образцы с проводником энергии (ED) 3D-PEEK.

Выводы

Изготовлены неразъемные соединения из одноименных и разноименных PEI и PEEK ламинатов с использованием Energy director с плотностью заполнения 15 % из филаментов PEI (ED-3DPEI) и PEEK (ED-3DPEEK). Подобно УЗС ненаполненных композитов, максимальными значениями LSS обладают образцы с ED-3DPEEK. Для образцов с максимальными значениями LSS (преимущественно с ED-3DPEEK) наблюдался когезионный тип разрушения, в том числе сопровождавшийся локальным разрушением углеродных волокон в составе верхнего слоя компонента композита. Показано, что достижение максимальных значений LSS для образцов PEI/ED-3DPEEK/PEI; PEEK/ED-3DPEEK/PEEK и PEI/ED-3DPEEK/PEEK обеспечивалось тем, что помимо ED частично подплавлялся примыкавший к зоне сплавления слой ламината.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0010

Список литературы

1. Bhudolia S K., Gohel G., Leong K. F., Islam, A. Advances in ultrasonic welding of thermoplastic composites: a review // Materials. – 2020. – Т. 13. – № 6. – С. 1284.
2. Brito C. B. G., Teuwen J., Dransfeld C. A., Villegas I. F. On improving process efficiency and weld quality in ultrasonic welding of misaligned thermoplastic composite adherends // Composite Structures. – 2023. – Т. 304. – С. 116342.
3. F. Villegas, L. Moser, A. Yousefpour, P. Mitschang, H.E. Bersee Process and performance evaluation of ultrasonic, induction and resistance welding of advanced thermoplastic composites // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2013. – Т. 26. – № 8. – С. 1007-1024.
4. Benatar A. 12 - ultrasonic welding of plastics and polymeric composites J.A. Gallego-Juárez, K.F. Graff (Eds.) – Power Ultrason: Woodhead Publishing, Oxford 2015. – 295-312 с.
5. Takeda S. I., Tanks J. D., Sugimoto S., and Iwahori Y., Application of Sheet-Like Energy Directors to Ultrasonic Welding of Carbon Fibre-Reinforced Thermoplastics // Advanced Composite Materials. – 2021. – Т. 30. – № 2. – С. 192–204.