

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОНСОЛИДАЦИЯ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРИМИДА И УГЛЕТКАНИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СВЯЗУЮЩЕГО

В.О. АЛЕКСЕНКО¹, С.В. ПАНИН^{1,2}

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vl.aleksenko@mail.ru

Слоистые полимерные композиционные материалы, армированные углеродным волокном, находят широкое применение в аэрокосмической и других высокотехнологичных отраслях промышленности. На сегодняшний день новые автоматизированные технологии, такие как намотка волокон, пултрузия, автоматизированная выкладка лент и волокон получают все более широкое распространение. При этом активно проводится поиск новых способов производства волоконно-армированных композитов, включая аддитивное производство [1,2].

Существенной проблемой, которая не позволяет широко применять вышеуказанные технологии, является формирование в композиционном материале низкодефектной структуры. Причиной этого является полное расплавление полимерного связующего в процессе соединения слоев, а также неоднородность укладки волокон в процессе автоматической выкладки. В результате, это сопровождается развитием таких нежелательных эффектов как: перегрев, пороброзование, деструкция полимера, формирование волнистости, снижение адгезии и т.д. [3].

Одним из перспективных подходов к оперативному формированию слоистых композитов является применение технологии ультразвуковой сварки, когда нагрев и расплавление происходит только на границе контактирующих слоев.

Приложение ультразвуковых (УЗ) колебаний является одним из распространенных способов сварки термопластов. Высокочастотные низкоамплитудные механические колебания используются для реализации фрикционного нагрева контактирующих поверхностей, что приводит к их локальному (в области контакта) подплавлению и последующему формированию неразъемного соединения. Ультразвуковая сварка позволяет соединять как аморфные, так и полукристаллические термопластичные полимерные материалы без дополнительного внешнего нагрева. Преимуществом данного метода также являются: относительно высокая скорость процесса формирования соединения, поскольку процессы УЗ-сварки успевают протекать за несколько тысяч колебательных циклов (за времена от долей до нескольких секунд), а также относительная лёгкость автоматизации при серийном производстве.

Целью данной работы являлось исследование влияния содержания связующего в препреге на основе термопластического полиэфиримида (ПЭИ) и углеткани, на прочность при межслойном сдвиге слоистых образцов, сформированных методом ультразвуковой послойной консолидации.

Препреги изготавливали путем растворения ПЭИ (Solver, Китай) в N-Метилпирролидоне и пропитки двунаправленной углеродной ткани ACM C285S (UMATEX, РФ) с последующим горячем прессованием при температуре 350 °С и давлении 2 МПа. Для ультразвуковой консолидации (УЗК) использовали станок ультразвуковой сварки УЗПС-7 (ООО «СпецмашСоник», Россия). Оценка прочности на сдвиг проводили согласно ГОСТ 32659-2014 (ISO 14130:1997). Испытания проводили на разрывной электро-механической машине Instron 5582. Скорость перемещения подвижного захвата составляла 1 мм/мин. Исследование топографии поверхности проводили на оптическом микроскопе Neophot 2 (Carl Zeiss Jena, Германия), оборудованном цифровой камерой Canon EOS 550D (Canon Inc., Япония).

На рисунке 1 представлены результаты оценки прочности, полученные при испытании по схеме межслойного сдвига от содержания связующего в углепластике при горячем прессовании (ГП) и ультразвуковой консолидации (УЗК).

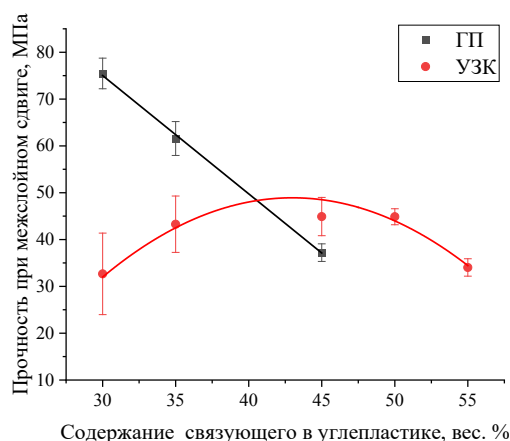


Рисунок 1. Зависимость разрушающего напряжения при испытании на межслойной сдвиг от содержания связующего в углепластике; горячее прессование (ГП) и ультразвуковая консолидация (УЗК)

На рисунке 2 представлены результаты изменения толщины свариваемых препрегов. Данный параметр характеризует на какую величину происходит утонения препрегов в процессе ультразвуковой консолидации.

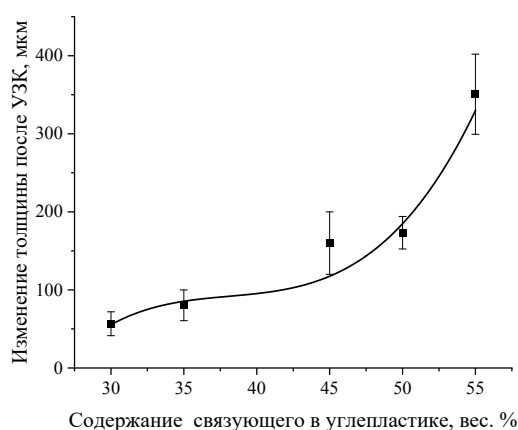


Рисунок 2. Изменение толщины свариваемых препрегов в зависимости от содержания связующего в углепластике

На рисунке 3 приведены оптические фотографии поверхности образца после УЗК. Прямоугольной рамкой выделена зона сплавления препрегов. Для композитов с 30 вес. % связующего в зоне сплавления наблюдались поры (рисунок 3, а). Для композитов с 45 вес. % ПЭИ (рисунок 3, б) наблюдалась однородная, низкодефектная структура. Толщина зоны сплавления меньше по сравнению с другими композитами. Это обусловлено расплавлением и выдавливанием полимера из зоны УЗ-консолидации, что подтверждается изменением толщины композита после УЗК (рисунок 2).

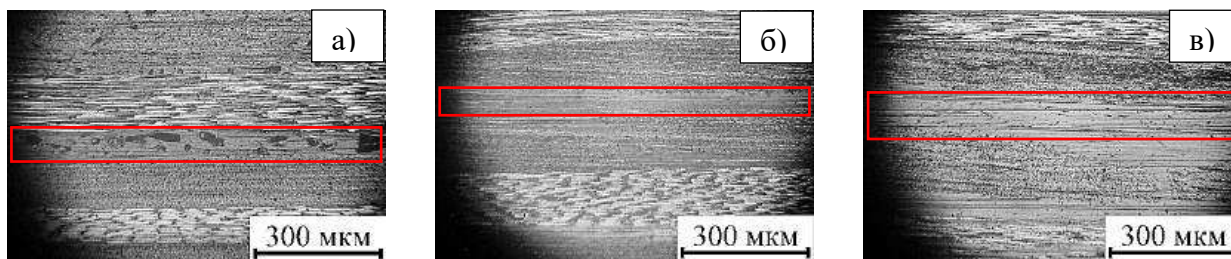


Рисунок 3. Оптические фотографии боковой поверхности образца после УЗК:
Содержание связующего: а) 30 вес.%; б) 45 вес.% связующего; в) 55 вес.% связующего

Для композитов с 55 вес. % (рисунок 3, в) также наблюдаются однородная, бездефектная структура. Однако, толщина зоны сплавления значительно больше по сравнению с другими композитами, что связано с высоким содержанием полимера в препреге.

В результате выполнения исследования было показано, что прочность при межслоевом сдвиге углекомполитов, полученных методом горячего прессования, повышается с уменьшением содержанием связующего в композите. Для композитов с содержанием связующего 30 вес. % разрушающее напряжение при испытании на межслоевой сдвиг составляла 75 МПа, при содержании связующего 45 вес. %, значение прочность (величина напряжения при разрушении) снижается до 38 МПа.

Показано, что при ультразвуковой консолидации наибольшим значением прочности при испытании на межслоевой сдвиг, обладают композиты, изготовленные из препрегов с содержанием связующего 45 вес. %. Прочность при межслоевом сдвиге для таких композитов составляет 45 МПа. При этом формируется однородная, бездефектная структура.

В случае использования препрегов с низким содержанием связующего 30 вес. %, при изготовлении слоистых композитов методом УЗК, формировалась пористая структура в зоне сплавления. Прочность при испытании на межслоевой сдвиг для таких композитов не превышала 32 МПа. Столь низкие значения обусловлены недостаточным содержанием связующего в препреге.

Выявлено, что использование препрегов с высоким содержанием связующего 55 вес. % для изготовления слоистых композитов методом УЗК, не позволяет получить высокие значения прочности при межслоевом сдвиге, что обусловлено высоким содержанием связующего в препреге.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00189, <https://rscf.ru/project/24-79-00189> и в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0010.

Список литературы

1. Karaş B., Smith P.J., Fairclough J.P.A., Mumtaz K. Additive manufacturing of high density carbon fibre reinforced polymer composites // Additive Manufacturing. – 2022. – Vol. 58. – 103044 p.
2. Butenegro J.A., Bahrami M., Swolfs Y., Ivens J., Martínez M.Á., Abenojar J. Novel Sustainable Composites Incorporating a Biobased Thermoplastic Matrix and Recycled Aerospace Prepreg Waste: Development and Characterization // Polymers. – 2023. – Vol. 15. – 3447 p.
3. Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Влияние технологических параметров на характеристики полимерных композиционных материалов при автоматизированной выкладке препрегов (обзор) // Труды ВИАМ. – 2021. – №6. – С. 46 – 55.