

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПРЕФОРМЫ МЕТОДОМ TFR НА ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТА

Петров П.А., Сабирзянов Р.Р., Каюмов И.Р.

13petrof@mail.ru

В данной работе рассмотрено влияние подготовки преформ методом TFR на конечные механические характеристики композита. Рассмотрены два варианта вышивки образцов: из цельной пластины и из пяти пластинок по отдельности. Также изучено влияние длины стежка на прочность композита, приведены диаграммы нагружения образцов до разрушения, проведен анализ и выбрана оптимальная длина стежка.

Введение

Большинство технологических процессов создания преформ в какой-либо степени снижают конечную прочность композита, т.е. прочностные характеристики материала в изделии ниже, чем его паспортные данные [1]. Технологию TFR (рис.1) можно отнести к новому поколению методов переработки композитов [2]. Особенности влияния её параметров на конечный результат до конца не изучен. Поэтому существует необходимость выбора подходов к изготовлению образцов для испытаний.

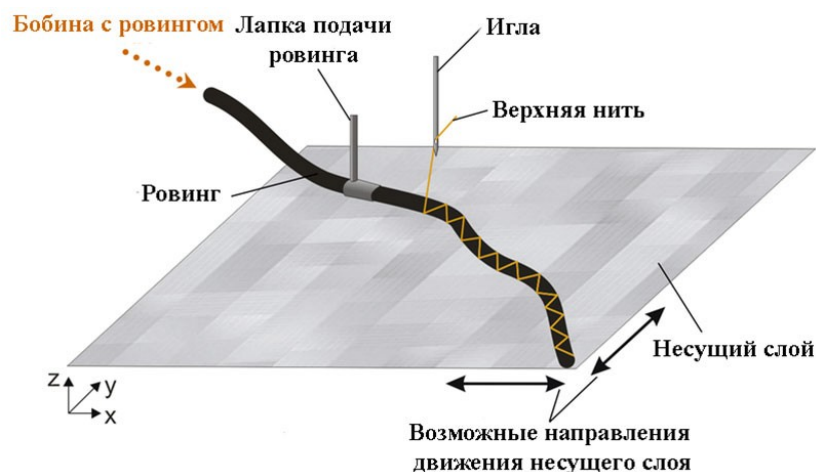


Рисунок 1 – Технология направленной укладки волокна TFR

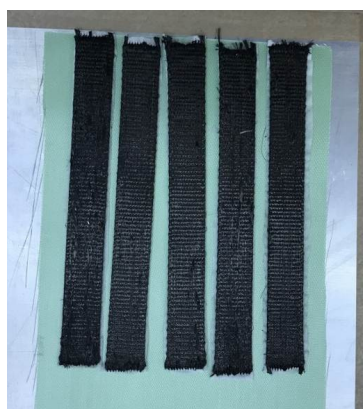
В частности для метода TFR на прочность могут оказать влияние следующие факторы:

- Отклонение от прямолинейности волокна при укладке на подложку.
- Процесс пристегивания волокон к подложке сопровождается травмированием последних иглой, что отрицательно влияет на прочность композита.

Планирование эксперимента и изготовление образцов

Для повышения достоверности результатов и исключения влияния способа получения преформы на эксперимент в соответствии с разработанной методикой эксперимента для определения механических характеристик при растяжении, изготавливались образцы из углеродного волокна двумя приемами: из цельной преформы – пластины для пяти образцов и из пяти преформ для каждого образца отдельно. Согласно разработанной схеме, заготовка выкладывается волокном по заданной траектории и формирует его на плоскости с заданной толщиной. Траектории линий выкладки ровинга рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить одинаковую плотность преформы на всех ее участках узлы пересечений линий и площадки контакта. Процесс вышивки отдельных для каждого образца преформ из углеволокна показан на рисунке 2, а, б; из гибридного материала показана на рисунке 2, в, г.

Следующим этапом собирается технологический пакет. Согласно схеме армирования пластин, сухой полуфабрикат размещается в полость формы. В процессе укладки осуществляется визуальный контроль качества укладки материала. После создается технологический пакет для проведения вакуумной инфузии. Сверху армирующих слоев укладывается перфорированная разделительная пленка. После выкладывается по площади заготовки распределительная сетка, сетка размещается так, чтобы контактировала с сеткой объемного переплетения. Далее на распределительную сетку устанавливаются штуцеры для подачи связующего. По площади заготовки укладывается мембрана, мембрана фиксируется по периметру заготовки и к штуцерам при помощи герметизирующего жгута. Подающие штуцера выводятся через мембрану. На мембрану укладывается дренажный слой, состоящий из нетканого материала. Далее на дренажный слой устанавливаются штуцеры, для создания разряжения в технологическом пакете. На завершающем этапе выкладывается вакуумный мешок.



а



б



в



д

Рисунок 2 – Изготовление преформ методом TFR

а, б – из углеволокна; в, г – комбинация углеволокна и стальной проволоки

Формование проводится методом вакуумной инфузии. Пропитка и отверждение связующего осуществляется по циклу, изображенному на рисунке 3.

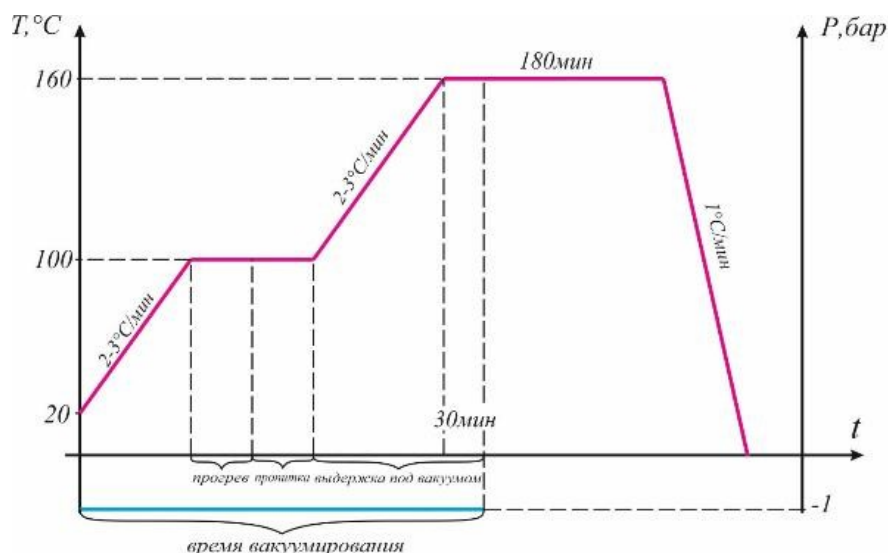


Рисунок 3 - Пропитка и цикл отверждения связующего Т-26

Следующим этапом подготовки образцов является наклейка накладок и нарезка образцов (рис.4)

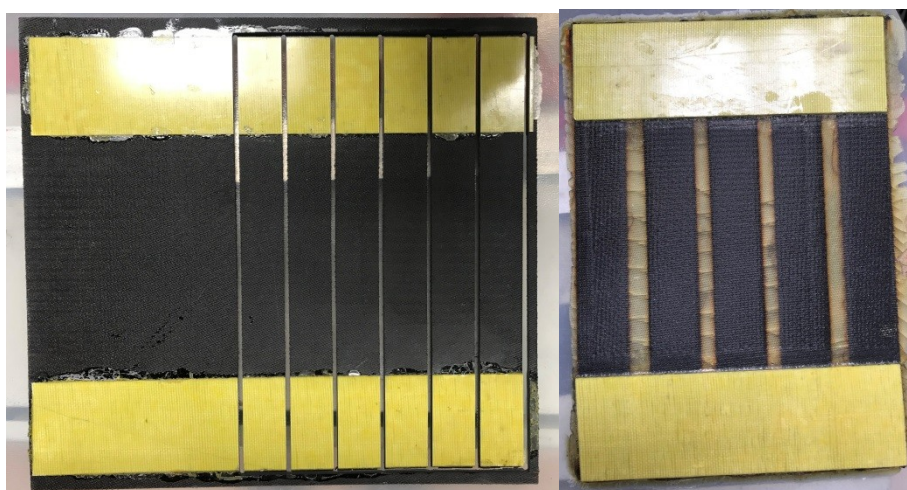


Рисунок 4 - Отформованные образцы с наклеенными накладками

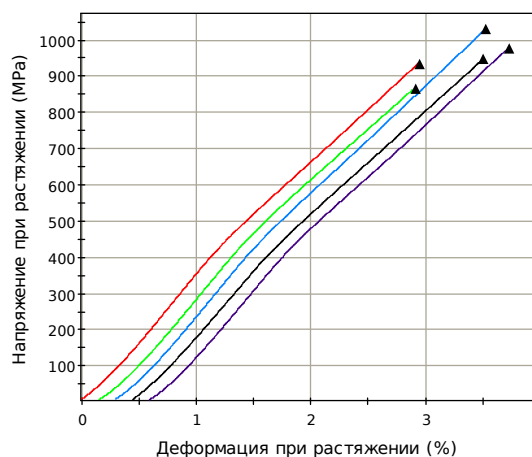
Испытание образцов

Основной задачей данного раздела работ являлось определение физико-механических характеристик элементарных образцов материалов при нормальных условиях. Методика испытания образцов разработана с учетом рекомендаций основного стандартизованного метода испытаний композитов при растяжении, а именно:

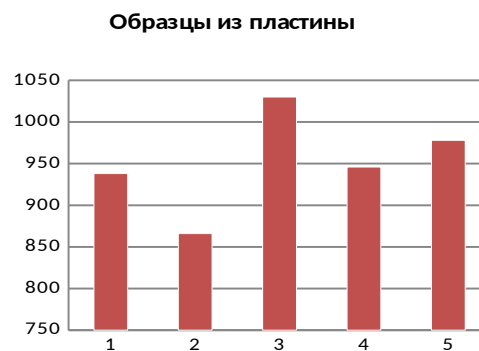
– Метод механических испытаний плоских образцов на растяжение - ГОСТ 56785-2015 / ASTM D3039.

Испытания проводились с использованием статической универсальной электромеханической машины Instron 5882 (100 кН), специализированной оснастки для растяжения плоских образцов.

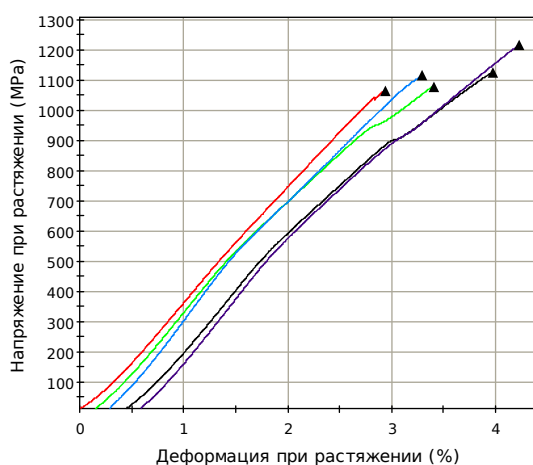
На рисунке 5 показаны результаты испытаний.



Предел прочности на растяжение

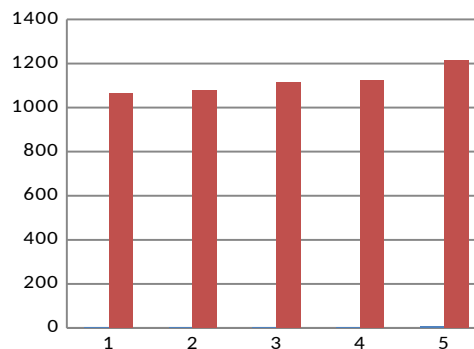


а



Предел прочности на растяжение, МПа

Образцы из отдельных пластинок



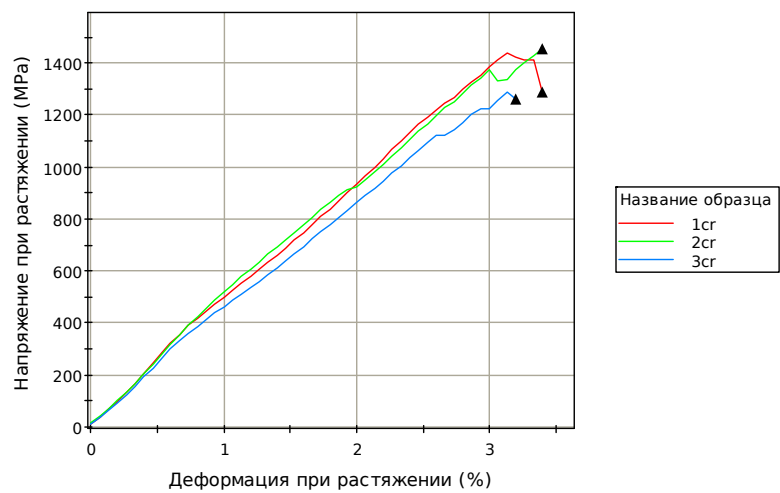
б

Рисунок 5 – Результаты испытаний образцов углепластика:
а - из цельной пластины, б – из отдельно изготовленных пластинок

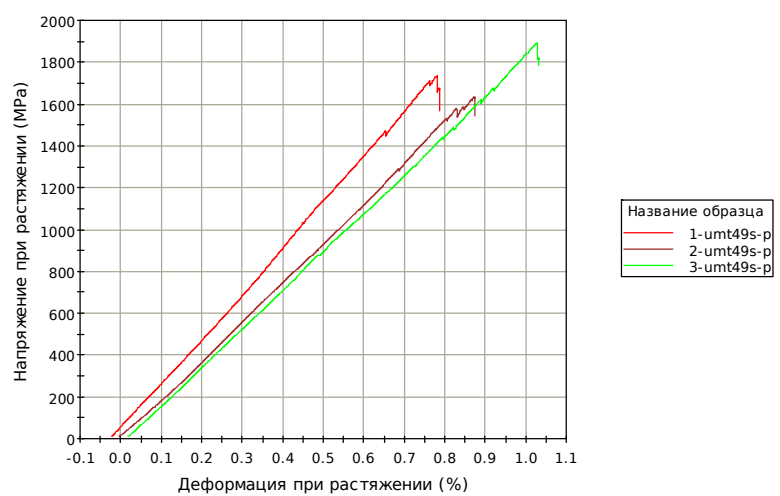
Как видно из гистограмм, механические параметры образцов близки, что говорит о стабильности процесса получения преформ. Диаграммы зависимости напряжения от деформации имеют характерный для углепластиков вид. Таким образом, для исследований можно использовать приёмы изготовления образцов, как из цельной пластины, так и полученных по отдельности.

В методе TFP реализуется фиксация ровинга на подложке путем пристегивания технологической нитью. При этом наблюдается «травмирование» армирующего волокна. Чем меньше шаг стежка, тем точнее выдерживается траектория укладки ровинга. В тоже время густая прошивка наносит больше повреждений. Как показывает опыт, повреждение ровинга прошивочной иглой может существенно снизить прочность углепластика [3]. С целью определения рационального шага стежка были проведены экспериментальные исследования.

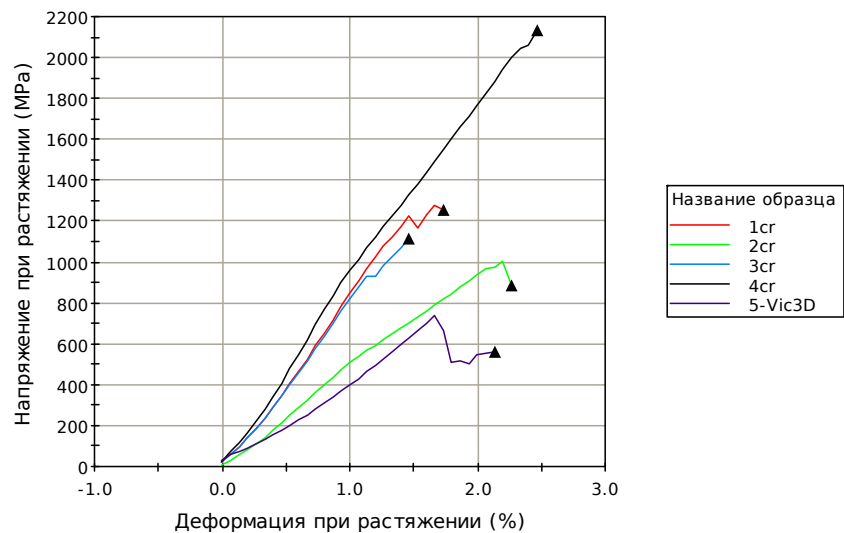
На рисунке 6 показаны результаты испытаний углепластиковых образцов, преформы которых формировались с длиной шага стежков 3, 6, 20, миллиметров.



a



б



в

Рисунок 6 – Сопоставление прочности образцов с преформами TFP с шагом стежков:
a – 3 мм, *б* – 6 мм, *в* – 20 мм

Сравнительная характеристика образцов с разной длиной стежка представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление шага стежка и предела прочности однонаправленного образца

№	Шаг стежка, мм	Предел прочности, МПа
1	3	1336,5
2	6	1752,4
3	20	1253,4

Как и следовало ожидать, при длине стежка 3 мм волокно подвергается многократному механическому повреждению филаментов. При длине стежка 6 мм этот эффект ослабевает и образец становится прочнее. Однако дальнейшее увеличение длины стежка является нецелесообразным, так как в процессе укладки волокно приобретает волнистость и перекручивается. Также при криволинейной укладке волокон большой шаг не может обеспечить точного повторения заданной траектории. Таким образом, оптимальным для углеродного волокна является стежок 6 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kärger L., Kling A.* Feedback Method transferring manufacturing data of TFP structures to as-build FE models : дис. – 2010.
2. *Aschenbrenner L., Temmen H., Degenhardt R.* Tailored Fibre Placement Technology–Optimisation and computation of CFRP structures. – 2007.
3. *Kärger L. et al.* Stress analysis and design suggestions for multi-loop carbon roving rosettes to reinforce bolt-loaded open-hole laminates. – 2016.