

УДК 678:004.94

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-46-50

С. И. Ярьсько^{1,2}, С. Н. Балакиров²

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ**

¹ Самарский государственный технический университет

² Самарский филиал ФИАН

E-mail: yarsi54@gmail.com

Предложен и реализован алгоритм построения геометрической 3D-модели детали из полимерного композиционного материала ВКУ-39 на основе углеродного волокна, предназначенной для дальнейшего конечно-элементного расчета температурного поля в детали при лазерной размерной обработке и выбора оптимальных режимов резки.

Ключевые слова: композитные материалы, лазерная размерная обработка, 3D-моделирование.

© Ярьсько С. И., Балакиров С. Н., 2021.

S. I. Yaresko^{1,2}, S. N. Balakirov²

MODELING OF A COMPOSITE MATERIAL FOR LASER DIMENSIONAL PROCESSING

¹Samara State Technical University

²Samara Branch of P.N. Lebedev Physical Institute

An algorithm for constructing a geometric 3D model of a part made of a polymer composite material VKU-39 based on carbon fiber, intended for further finite element calculation of the temperature field in the part during laser dimensional processing and the choice of optimal cutting modes, was proposed and realized.

Keywords: composite materials, laser dimensional processing, 3D-modeling.

Полимерные композитные материалы (ПКМ) широко применяются в различных отраслях промышленности: при производстве космической и авиационной техники, в машиностроении, при изготовлении медицинской техники, спортивного инвентаря и др. При этом композитные материалы обладают высоким потенциалом расширения области применения, особенно перспективны ПКМ на основе углеродной ткани (УТ).

Наряду с преимуществами у ПКМ существует ряд недостатков, среди которых выделяются технологические проблемы механической обработки [1]. В частности, при сверлении отверстий возникают волосовины, расслоение и скалывание ПКМ в месте резания, заусенцы на выходе сверла, не достигается высокая чистота обработанной поверхности, имеют место низкая стойкость инструмента и его поломки, низкая производительность технологической операции и т. д.

Решить большинство технологических проблем механической размерной обработки ПКМ может применение гидроабразивной и лазерной технологий раскроя ПКМ, обладающих более высокой производительностью. При этом в области реза не возникает нарушений рельефа и структуры поверхностного слоя, присущих механической обработке, материал не получает механических повреждений.

Однако особенности, присущие ПКМ, пока не позволяют свободно применять лазерную резку как основную технологическую операцию. В отличие от сталей ПКМ обладают низкой теплопроводностью ($\lambda \approx 0,3-0,5$ Вт/(м·град) [2], для сталей, например, $\lambda \approx 20-40$ Вт/(м·град) [3]), за счет этого на некотором расстоянии от зоны резания достигаются температуры, при которых происходит деструктуризация эпоксидной матрицы (связующего) [4]. Размер зоны деструктуризации зависит от различных факторов: марки ПКМ, его толщины и структуры, а при импульсной лазерной обработке (ЛО) и от длительности, энергии и формы импульса

лазерного излучения и др. Существующие способы лазерной резки непрерывным, импульсным, импульсно-периодическим излучением предполагают применение многопроходной резки [5], одномодового излучения, импульсов короткой длительности (пикосекундного диапазона), специальных способов организации технологического процесса [1], [6], [7]. Сложность выбора технологических режимов лазерной резки композиционных материалов определяется существенно разными как физическими, так и оптическими характеристиками армирующих волокон и связующего [6].

Проблема современной технологии лазерной резки ПКМ заключается в определении оптимальных режимов ЛО для конкретной детали с целью минимизации зоны термического влияния (ЗТВ) при минимальной трудоемкости процесса резки.

Задачу выбора оптимальных режимов лазерной резки целесообразно решать в два этапа. На первом из них должна быть построена геометрическая 3D-модель участка композиционного материала, предназначенного для ЛО. Этот этап является подготовительным для последующего выбора режимов лазерной резки (прошивки отверстий), который планируется реализовать методом конечных элементов при построении тепловой модели лазерной размерной обработки ПКМ.

Среди всего многообразия существующих композиционных материалов для проведения исследования в работе выбран один из перспективных ПКМ марки ВКУ-39, который, в основном, рекомендуется для изготовления деталей силовых конструкций планера, звукопоглощающих конструкций двигателя [8]. Углепластик ВКУ-39 состоит из армирующей равнопрочной УТ (артикул 3692) фирмы «Porchet» (Франция) и эпоксидного связующего ВСЭ-1212 ТУ 1-595-12-1068-2009 [8, 9].

Два материала с различными свойствами образуют углепластик ВКУ-39, поэтому 3D-модель ПКМ была спроектирована в виде сборки,

представляющей два набора тел. К первому набору относится УТ, ко второму – оксидное связующее. Углеродная ткань, в свою очередь, состоит из углеродных нитей, сплетенных между собой особым образом. Эпоксидное связующее (матрица) заполняет все свободное пространство между углеродными нитями.

В каталоге фирмы производителя УТ «Pocher» для наиболее распространенной равнопрочной ткани артикул 3692 указано: саржевое плетение «2×2 Twill». Для этого типа плетения нити в поперечном и продольном направлениях чередуются через 2; количество нитей на 1 см – «5.0×5.0», таким образом, ширина одной нити – 2 мм [10].

Построение модели проводилось на участке детали с габаритными размерами 20×20×1 мм,

достаточными в последующем для расчета температурного поля при лазерной размерной обработке. Толщина УТ составляет 0,19–0,24 мм [9]. Для определенности толщину ткани для построения модели примем равной 0,19 мм. Слои УТ не прилегают друг к другу плотно, это пространство между слоями занимает эпоксидное связующее. Тогда, с учетом эпоксидного связующего, примем, что для получения готовой детали толщиной 1 мм из углепластика необходимо четыре слоя УТ.

Построение участка детали из ПКМ с габаритными размерами 20×20×1 мм проводилось в программном пакете «КОМПАС-3D». На рис. 1 представлена структурная схема построения данного участка, иллюстрирующая основные этапы моделирования.

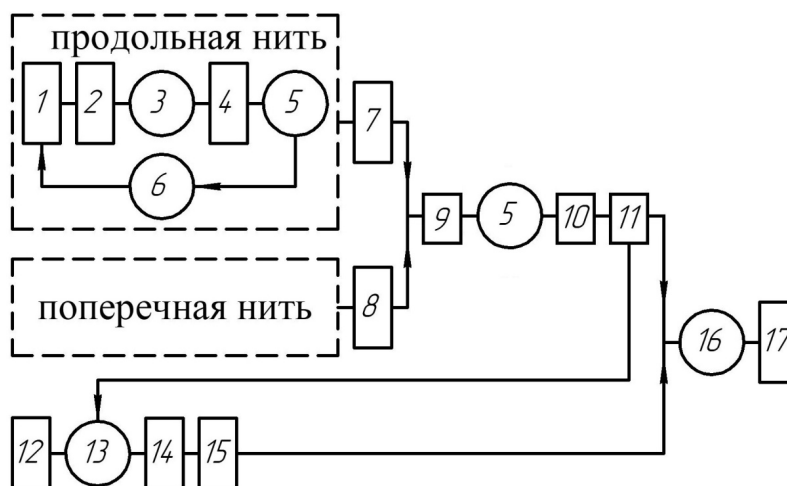


Рис. 1. Структурная схема построения модели участка ПКМ:

1 – эскиз сечения нити УТ; 2 – эскиз для вытягивания нити; 3 – процедура «Кинематическая операция»; 4 – сформированная одна нить ткани; 5 – операция «Массив по сетке»; 6 – оператор цикла; 7 – продольный слой ткани; 8 – поперечный слой ткани; 9 – один слой ткани; 10 – четыре слоя ткани; 11 – сохраненная в отдельный файл модель четырех слоев ткани; 12 – модель будущей полимерной матрицы (прямоугольный параллелепипед 20×20×1 мм); 13 – вычитание моделей четырех слоев ткани из модели будущей полимерной матрицы; 14 – модель полимерной матрицы; 15 – сохраненная в отдельный файл модель полимерной матрицы; 16 – вставка в один файл моделей полимерной матрицы и четырех слоев УТ; 17 – модель участка ПКМ

Разработка модели начинается с построения эскиза сечения нити УТ (рис. 2, а). Так как слой рассматриваемой УТ состоит из продольных и поперечных нитей характерного плетения, то наибольшая толщина УТ в 0,19 мм достигается в месте их пересечения. Таким образом, толщина одной нити равна половине толщины одного слоя УТ: $0,19/2 = 0,095$ мм. Ширина нити 2 мм. Для определенности примем, что форма сечения нити – эллипс.

Следующая операция заключается в построении в плоскости перпендикулярной эскизу сечения нити эскиза траектории формирования нити

(рис. 2, б). С использованием процедуры «Кинематическая операция» по этим двум эскизам формируется одна нить УТ (рис. 3, а). В результате повторения описанных процедур (рис. 1, позиция б) аналогично первой строится вторая, затем третья и четвертая нити. Для обеспечения заданного типа плетения был реализован алгоритм построения каждого последующего эскиза траектории со смещением влево на 2 мм – ширину одной нити.

С помощью команды «Массив по сетке», предназначенной для дублирования геометрических элементов, копируются оставшиеся нити продоль-

ного слоя ткани (рис. 3, б), где зеленым цветом выделены копируемые и вновь созданные нити.

Аналогичным способом строятся эскизы сечений нитей и траекторий вытягивания, а по ним нити в поперечном направлении. Так полу-

чается один слой УТ размерами 20×20×0,19 мм (рис. 4, а). С помощью команды «Массив по сетке» (рис. 1) из полученного слоя ткани создается еще три слоя (рис. 4, б). Модель полученной УТ сохраняется в отдельный файл.

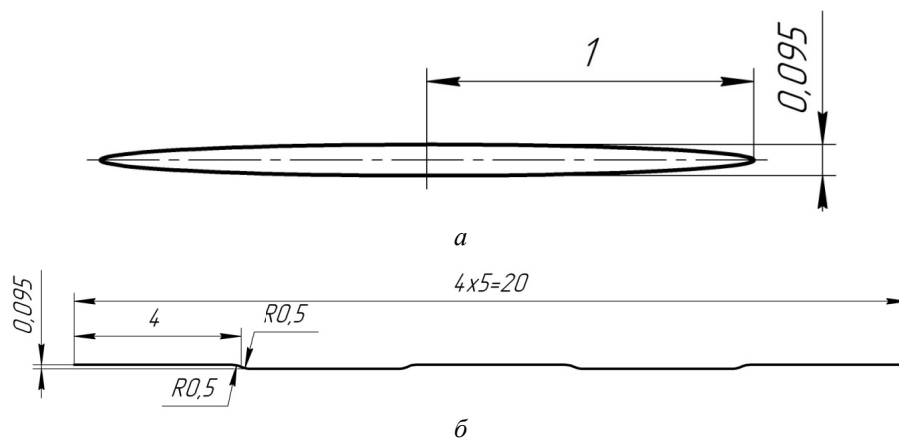


Рис. 2. Построение эскизов углеродных нитей:
а – эскиз сечения нити УТ; б – эскиз траектории формирования нити УТ

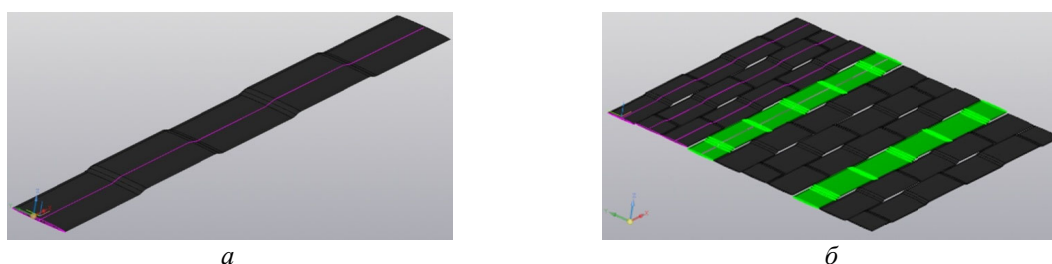


Рис. 3. Построение 3D-модели нитей УТ:
а – построение нити УТ; б – результат копирования нитей

На следующем этапе строится модель будущей матрицы (тела эпоксидного связующего) размерами 20×20×1 мм. Для создания матрицы с помощью булевой операции из параллелепи-

педа с габаритными размерами 20×20×1 мм вычитаются нити ткани. Полученная модель матрицы сохраняется в отдельный файл.

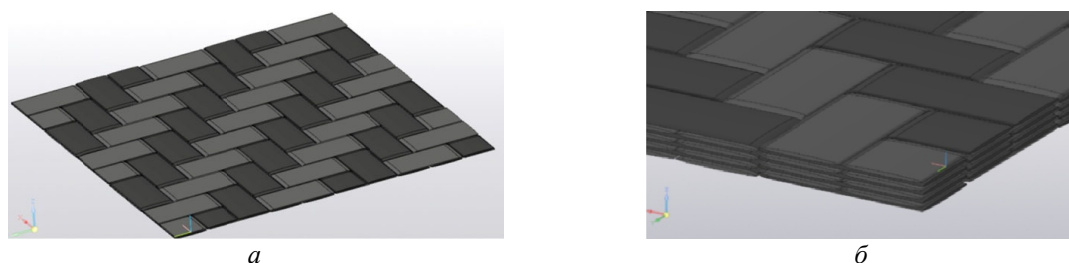


Рис. 4. Построение четырех слоев УТ:
а – один слой УТ; б – четыре слоя УТ

На последнем этапе создается файл сборки, в который из отдельных файлов вставляются модели матрицы и УТ. В результате описанных

выше процедур имеем готовую модель участка из ПКМ (рис. 5).

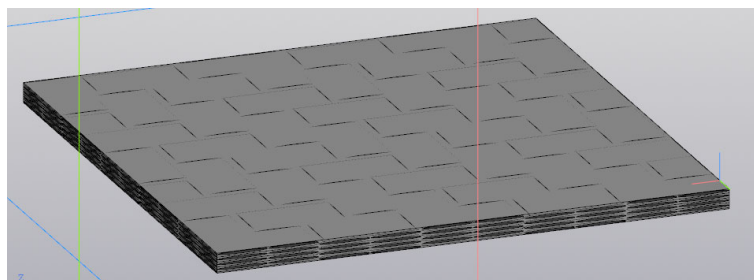


Рис. 5. Готовая модель участка детали из ПКМ

Итак, в результате выполнения описанных выше операций создана геометрическая 3D-модель участка детали из ПКМ. Данная модель может быть использована для конечно-элементного моделирования и расчета температурного поля при лазерной обработке, в частности, для моделирования процесса лазерной резки (прошивки отверстий) и выбора оптимальных режимов обработки, обеспечивающих минимальную зону деструктуризации ПКМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Раскутин, А. Е. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций (обзор) [Электронный ресурс] / А. Е. Раскутин, А. В. Хрульков, Р. И. Гириш // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2016. – № 9. – Ст. 12. Режим доступа: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1013
2. Температурные зависимости теплопроводности композиционных материалов на основе полипропилена с углеродными нановолокнами / Н. Ф. Майникова [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 548–552.
3. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В. Г. Соколин [и др.]. – М. : «Интернет Инжиниринг», 2001. – 608 с.
4. Гуреев, Д. М. Лазерный раскрой углеродных композиционных материалов / Д. М. Гуреев, С. И. Кузнецов, А. Л. Петров // Известия Самарского научного центра РАН. – 1999. – Т. 1, № 2. – С. 255–264.
5. Котов, С. А. Оценка зоны термического влияния при обработке углепластиков непрерывным излучением волоконного иттербиевого лазера / С. А. Котов, Н. А. Лябин, М. А. Казарян // Краткие сообщения по физике. – 2019. – № 2. – С. 53–60.
6. Некоторые аспекты лазерной резки полимеров и ПКМ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/239/>
7. Пат. 2689346 Российская Федерация, МПК В23К 26/382, В23К 26/14, Способ лазерной резки тонколистового углепластика / Наседкин Ю. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель АО «ОНПП "Технология" им. А. Г. Ромашина». – № 2018134828; заявл. 01.10.2018; опубл. 27.05.2019. Бюл. № 15. – 6 с.
8. Мишууров, К. С. Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-39 [Электронный ресурс] / К. С. Мишууров, С. И. Мишкин // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2016. – № 12. – Ст. 8. Режим доступа: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1045
9. Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов: официальный сайт [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://catalog.viam.ru/catalog/>
10. Selector Guide Composites. 2017. Porcher industries: официальный сайт [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.porcher-ind.com/upload/media_center/dab29-selector-guide-composites.pdf