

УДК 621.95.01

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНООБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

О.А. Осинина-Зарак¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассмотрены некоторые свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ), их преимущества и недостатки перед металлическими сплавами, области применения. Приведены примеры использования композитов в российском и зарубежном авиастроении. Выделены проблемы, возникающие при механообработке изделий из ПКМ, их классификация. Показана типовая схема проведения опытных работ при выборе технологических режимов. Описан механизм резания ПКМ в зависимости от ориентации волокон наполнителя. Обозначены причины дефектообразования.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал; сверление; дефектообразование.

THE ISSUES OF MACHINING PROCESS OF POLYMER COMPOSITES, CAUSES OF DEFECTS

O. Osinina-Zarak

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

The article discusses some properties of polymer composite, their application areas, advantages and disadvantages over metal alloys. It exemplifies the composites usage in the Russian and foreign aircraft building. The author reveals the problems arising in the polymer products machining and their classification; provides a typical diagram of the experimental works performance when choosing technological modes; describes a cutting mechanism of polymer composite depending on the orientation of the filler fibers. The article discloses defect production causes.

Keywords: polymer composite; drilling; defect formation.

Одной из первостепенных задач для российского авиастроения является необходимость оставаться конкурентоспособными на мировом рынке. В настоящее время в рамках программы импортозамещения происходит активная модернизация авиационной и космической отрасли [1]. Российские ученые разрабатывают новые конструктивные решения [2, 3], прогрессивные технологии [4,5], создают новые материалы или совершенствуют существующие. Среди новых материалов композиционным уделяется особое внимание, благодаря их высоким физико-механическим, теплофизическим и диэлектрическим характеристикам.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) представляют собой сочетание высокопрочных волокон с матрицей. Матрица обеспечивает монолитность композита, фиксирует форму изделия и взаимное расположение армирующих волокон, распределяет действующие внешние напряжения по объему композита, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и ее перераспределение при разрушении части армирующих волокон. В качестве матрицы используются эпоксидные и полиамидные смолы. Волокна производят из графита, бора, стекла, карбида кремния, сапфира [6].

Благодаря композитам стал возможен новый качественный скачок в снижении габаритов и массы различных силовых конструкций, повышении весовой эффективности транспортных средств и авиационно-космических аппаратов. По сравнению с традиционными конструкционными материалами применение ПКМ обладает рядом преимуществ: высокие характеристики прочности и жесткости; стойкость к вибрационным и акустическим воздействиям; свойство сдерживать развитие трещин; коррозионная стойкость изделий; технологичность (возможности создания крупногабаритных конструкций сложной аэродинамической формы и др.).

Применение ПКМ в авиастроении резко уменьшает число входящих в сборочный узел деталей по сравнению с клепаными; сокращает число конструкторских и технологических разъемов; не приводит к возникновению концентрации напряжений в стыке и позволяет получать прочность соединения, равную прочности основных элементов; получать наиболее гладкие поверхности; не вызывает структурных изменений в соединяемых материалах [7].

Примером является российский ближнемагистральный пассажирский самолёт. Около 10 % площади поверхности самолета SSJ 100 составляют панели и навесные агрегаты из ПКМ.

¹ Осинина-Зарак О.А., магистрант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: 89500617133@mail.ru

Osinina-Zarak Olga, a postgraduate student of Engineering Technology and Production Equipment Department, e-mail: 89500617133@mail.ru

Сегодня зоной ответственности Воронежского Акционерного Самолетостроительного Общества по производству и поставкам составных частей для серийного самолета SSJ 100 являются 163 наименования агрегатов фюзеляжа, крыльев и оперения, состоящих из полимерных композиционных материалов – углепластиков, стеклопластиков и металлических элементов [8].

ГП «Антонов» имеет огромный опыт изготовления большого количества элементов конструкций из ПКМ фюзеляжа, крыла и оперения, gondol двигателей и систем, интерьеров и бытового оборудования головных партий самолета Ан-148 [9].

Общий объем композитов, используемых в MC-21, является самым высоким среди всех существующих самолетов этого класса. В частности, композитное крыло самолетов семейства MC-21, не имеющее аналогов в мире, позволит существенно улучшить аэродинамику и сэкономить на топливе. В целом в MC-21 доля композитов составит от 30 % до 40 % [10] (рис. 1).

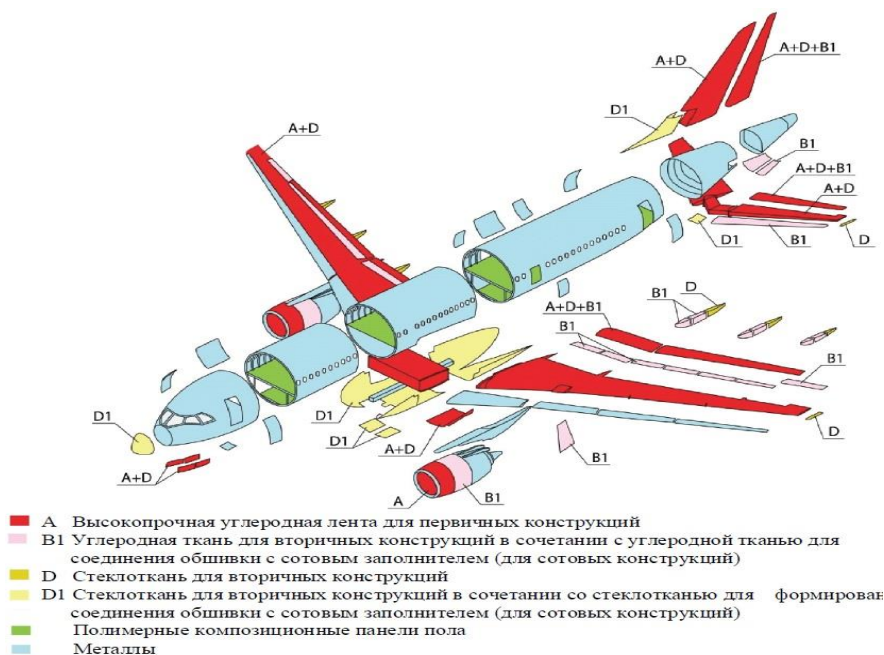


Рис. 1. Применение композиционных материалов в MC-21

За рубежом объем использования ПКМ в конструкции планера современных самолетов достигает 50 % по весу, например Boeing 787 (США) – 50 %, Airbus A380 (Европа) – 30 %, Airbus A350 (Европа) – 50 % (рис. 2).

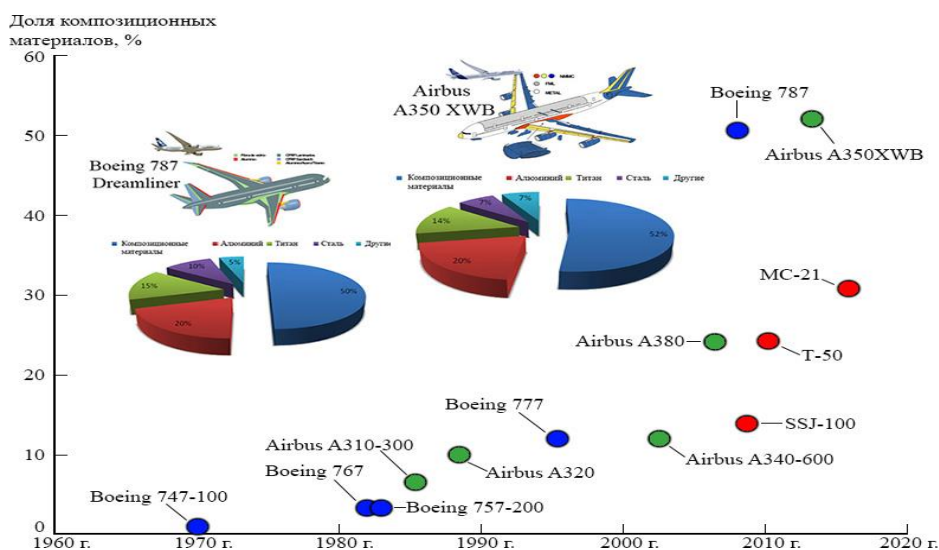


Рис. 2. Доля композитных материалов в самолетах некоторых типов

В процессе изготовления деталей из композиционных материалов выявляются весьма серьезные проблемы при механической обработке. Это, прежде всего, связано с обеспечением качества обработанной поверхности и точности размеров. Основные дефекты поверхности композиционного материала при воздействии режущего инструмента следующие: неравномерная шероховатость; большая волнистость; вырывы и сколы на торцах; расслоение волокна, ворсистость; трещины и царапины; отклонение формы и взаимного расположения поверхностей.

В подавляющем большинстве случаев выбор режимов обработки выполняется проведением опытных работ с последующей обработкой полученных результатов. Типовая схема проведения тестов показана на рис. 3 [11].



Рис. 3. Типовая схема проведения опытных работ при выборе технологических режимов

Поскольку процесс характеризуется набором параметров, а целевые критерии могут быть различны (погрешность формы/размеров отверстия, уровень деламинации/прочих повреждений, шероховатость поверхности каждого из компонентов и т. д.) тест обычно предполагает варьирование каждым из целевых критериев в технически возможном диапазоне. Анализируя влияние параметров процесса на результат, выполняется выбор их приемлемого диапазона.

При анализе причин дефектообразования следует отметить существенные отличия механизма резания ПКМ, который кардинально зависит от направления ориентации волокон наполнителя (рис. 4). Наиболее подробно данный механизм рассмотрен авторами работы [12].

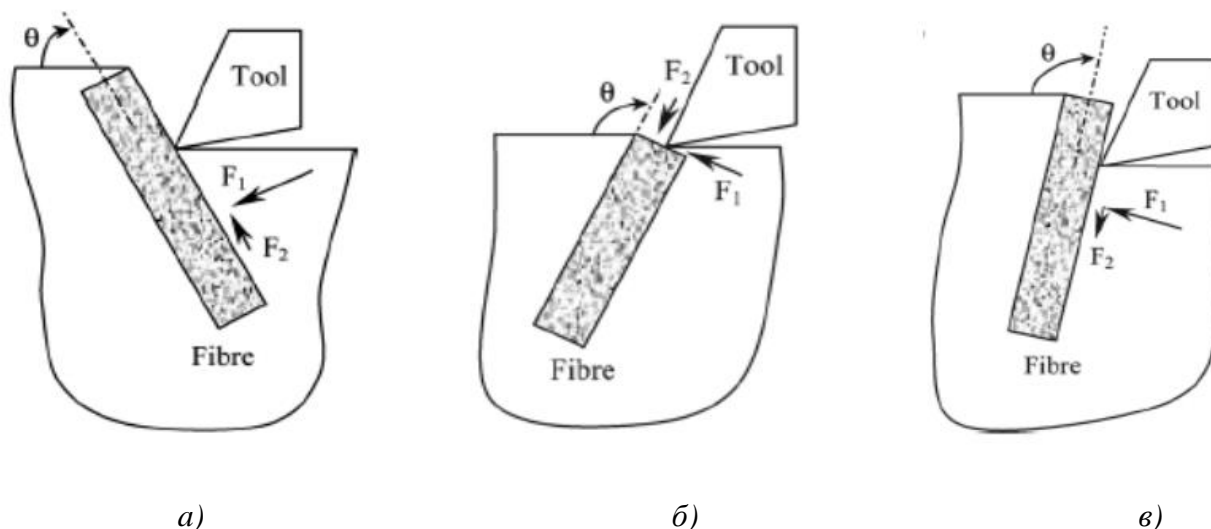


Рис. 4. Механизм резания ПКМ в зависимости от ориентации волокон наполнителя

Для случая ориентации волокон наполнителя под углом $\theta < 90^\circ$ происходит локальное поперечное сжатие волокон в области действия вершины режущего клина (рис. 4, а).

Существенной изгибной деформации волокон при этом не происходит. Более того, имеет место преимущественно упругая деформация. Реакция нижележащих слоёв, равна по модулю F_1 . Разрушение материала обусловлено силой F_2 , в момент времени, когда напряжения превышают предел прочности. Происходит разрыв волокон наполнителя и локальное разрушение связующего с последующим сдвигом разорванных волокон относительно нижележащих слоёв по границе фаз связующего и наполнителя.

Размер области разрушения напрямую зависит от локальной области контакта вершины режущего клина, и в данном случае незначителен, так как обусловлен преимущественно напряжениями растяжения в области «концентратора».

При $\theta > 90^\circ$ разрушение обусловлено напряжениями изгиба групп волокон, и вызвано действием F_1 (рис. 4, б, в). Равнодействующая сил F_1 и F_2 направлена внутрь обрабатываемого материала, что исключает влияние сил, действующих вдоль волокон наполнителя в их разрушении от напряжений, обусловленных растяжением. Процесс сопровождается развитием т.н. «опережающих трещин», обусловленных расслоением материала от консольно действующей нагрузки F_1 . Разрушение происходит у основания «опережающих трещин», глубина которых зависит от сил межслойного сцепления. Очевидно, что глубина «опережающих трещин» будет меньше в случае больших сил межслойного сцепления, которые могут быть увеличены повышением доли связующего в составе ПКМ.

Основная доля дефектов, характерных для процесса обработки отверстий в ПКМ приходится на области входа и выхода инструмента из отверстия [13] (рис. 5).

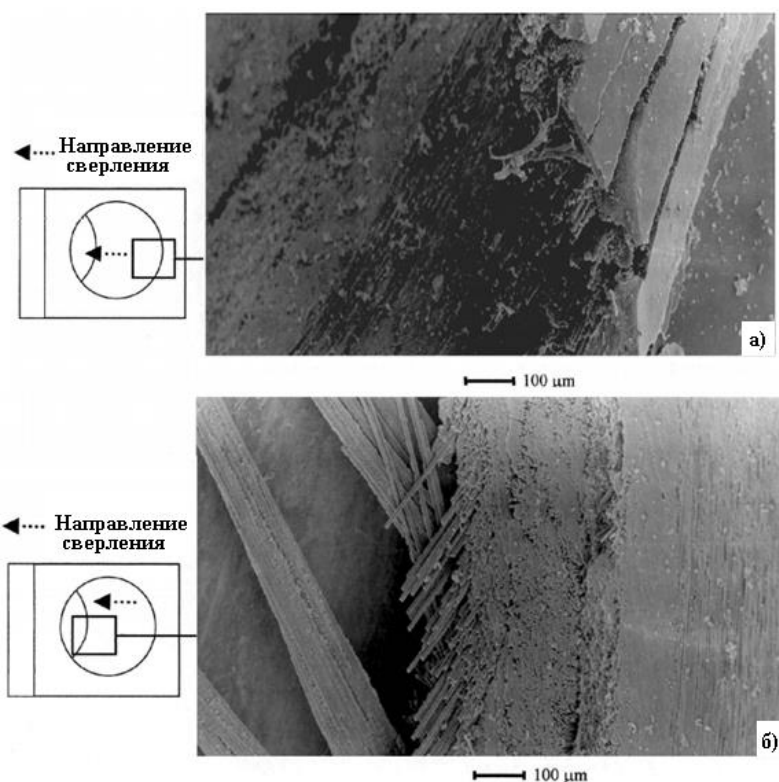


Рис. 5. Изображение дефектов, полученное с использованием электронного микроскопа: а – «pull-in»-дефектов (тип 1), б – «push-out» (тип 2) дефектов

Для комплекса дефектов в области входа инструмента в отверстие принято использовать «pull-in» дефекты (тип 1), а для области выхода инструмента – соответственно «push-out» (тип 2) дефекты (рис. 5).

Основную их часть составляют локальные вырывы материала из стенок и кромок отверстия, образование очагов несрезанных волокон наполнителя, а также деламинация.

Ключевыми причинами их возникновения считают влияние режимов обработки и геометрии режущего инструмента.

Наиболее актуальной задачей в настоящее время является механообработка ПКМ в составе смешанного пакета (Ti-ПКМ-Ti) для осуществления качественной сборки самолета МС-21. Российские ученые работают над наполнением базы знаний по обработке отверстий в смешанных пакетах режимами резания, стойкостью инструмента, геометрией инструмента и другими технологическими параметрами, влияющими на качество и производительность [14–16]. Но изучение механообработки ПКМ не в составе пакета не теряет актуальности ввиду интенсивного расширения сфер применения этих материалов. Помимо авиастроения, где композиты входят в состав высоконагруженных деталей самолетов (обшивка, лонжероны, нервюры, панели и т. д.) и двигателей (лопатки компрессора и турбины и т. д.), ПКМ применяются в космической технике для узлов силовых конструкций аппаратов, для элементов жесткости, панелей, в автомобилестроении для облегчения кузовов, панелей кузовов, и т. д., в гражданском строительстве (пролеты мостов, элементы сборных конструкций высотных сооружений и т. д.) и в других областях.

Таким образом, для дальнейшего изучения механизмов механообработки изделий из ПКМ необходимо проводить экспериментальные исследования. Путем составления зависимости параметров качества (шероховатость и диаметр отверстия) от режимов резания (подача и скорость резания), будут даны рекомендации по выбору оптимальных режимов.

Библиографический список

1. Вепрев А.А., Сергунов А.В., Головных И.М., Пашков А.Е., Ахатов Р.Х., Шмаков А.К., Савилов А.В. Опыт и перспективы участия вузовской науки в создании передовых технологий авиастроения на базе корпорации «Иркут» // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2012. – № 4. – С. 50–57.
2. Богданов К.В., Савилов А.В. и др. Производство высокопроизводительного режущего инструмента в условиях ИАЗ // Наука и технологии в промышленности. – 2013. – № 1–2.
3. Пашков А.Е. Технологический комплекс для формообразования длинномерных панелей и обшивок на базе отечественного оборудования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1 (5). – С. 1528–1535.
4. Пашков А.Е. Автоматизированная технология комбинированного формообразования панелей самолетов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 15, № 6 (2), 2013. – С. 453–457.
5. Пашков А.Е. Об особенностях применения отечественной и зарубежной технологии формообразования обшивок и панелей самолетов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – Вып. 5 (100). – С. 17–21.
6. Миккульский В.Г. Строительные материалы (Материаловедение и технология): уч. пособие. М. : Изд-во АСВ, 2002. – 536 с.
7. Крысин В.Н., Крысин М.В. Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
8. Сухой Суперджет 100, Суперкомпозиты для «Суперджета» URL: <http://superjet100.info/wiki:superkompozity-dla-superdzeta> (дата обращения 26.01.2016).
9. Антонов ПКМ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.antonov.com/services/production-services/polymer-composites?lang=ru> (дата обращения 27.01.2016).
10. Савин С.П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолётов семейства МС-21 // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – № 4. С. 1–4.
11. M.K.A Mohd Ariffin, M.I.Mohd Ali, S.M.Sapuan, N.Ismail. An optimize drilling process for an aircraft composite structure using design of experiments // Scientific research and Essay. – 2009. – Vol. 4 (10). – P. 1109–1116.
12. Wang X.M, Zhang L.C. An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics // Int. J. of machine tools and manufacture. – 2003. – 43. – P. 1015–1022,
13. C. Murphy, G. Byrne, M.D. Gilchrist. The performance of coated tungsten carbide drills when machining carbon fibre reinforced epoxy composite materials // Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 216. Part B: J Engineering Manufacture.
14. Иванов Ю.Н., Каверзин Е.Я., Чапышев А.П. Экспериментальное исследование влияния теплового расширения обрабатываемых материалов при сухом сверлении отверстий в пакетах структуры «полимерный композиционный материал – титановый сплав» // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10 (81). – С. 36–42.
15. Иванов Ю.Н. Сверление отверстий в смешанных пакетах, статья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1-5. – С. 1402–1406.

16. Чашин Н.С., Иванов Ю.Н. Обработка отверстий в смешанных пакетах методом орбитального сверления // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 11 (106). – С. 44–49.