

УДК 629.7.024:624.046.2

А.С. Бекетова, специалист, Нац. аэрокосм. ун-т
им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СОЕДИНЕНИЯ БУГЕЛЯ С КОМПОЗИТНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Введение. Волокнистые и слоистые композиционные материалы (КМ) широко применяют во всех областях промышленности, в связи с тем, что они позволяют максимально повысить эффективность конструкций и оптимизировать их по массе. Для конструктивных элементов из КМ необходимы специальные конструктивно-технологические решения (КТР) соединений для более равномерного распределения напряжений в нерегулярных зонах как металлических, так и композитных деталей. В связи с этим проблема выбора рационального КТР соединения является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Для снижения массы конструкций необходимо повысить эффективность используемых материалов и существующих технологий. Композиты и детали на их основе в машиностроительной и транспортной отраслях весьма распространены, но увеличить эффективность и общий объем КМ в машиностроительных конструкциях не всегда можно из-за дороговизны этих материалов. Кроме того, существует ряд проблем, связанных с трудностями соединения деталей из КМ между собой и металлическими элементами конструкции [1, 2]. Основываясь на предложенных способах соединений деталей из КМ, можно утверждать, что традиционные виды соединений, активно применяемые для металлических конструкций, малоэффективны для композитов [3]. Соответственно для конструкций из КМ следует применять другие, нетрадиционные виды соединений — микроштифтовые, т.е. соединения с продольными и поперечными связями, которые образуют гетерогенную структуру КМ, не нарушают целостности волокон и благодаря минимизации крепежных элементов в меньшей степени деформируют напряженное поле при передаче усилий от одной детали к другой [4]. Несмотря на дороговизну КМ, сложность ремонта и соединения конструкций из КМ, композиты активно внедряют в военную технику, машиностроение, спорт и медицину. В связи с этим композитные конструкции испытывают различные сложные нагружения. Одним из таких нагружений является неравномерный отрыв, где одновременно происходит отрыв и кручение узлов крепления.

Цель работы. Целью данного исследования является разработка КТР соединения композитной детали и узла крепления, которое будет максимально эффективным при нагружении неравномерным отрывом. Узел крепления, который чаще изготавливают из металлического сплава, вырывается из более податливого и менее жесткого композитного конструктивного элемента. В связи с этим необходимо создание такого решения, которое максимально раскроет преимущество одного и другого материала.

Изложение основного материала. Высокотехнологические конструкции проектируют из условия минимума массы, поэтому узлы крепления имеют сложную форму, изготавливаемую в результате большого количества технологических операций. Для высокой точности результатов исследования эксперимент проводят максимально приближенно к реальным условиям на-

DOI: 10.15276/opr.1.43.2014.09

© А.С. Бекетова, 2014

гружения и закрепления, передавая форму и размеры испытываемой конструкции. На этапе итерационного проектирования и проверки работоспособности КТР выбирают комбинированный эксперимент, т.е. значительно упрощают форму испытываемой конструкции, предварительно моделируя различные варианты. Конечно-элементное моделирование в пакете Solid Works оценивает напряженно-деформированное состояние (НДС) и показывает, что при переходе от реальной конструкции (рис. 1, а) до конструкции с нулевой кривизной оболочки (рис. 1, б) максимальные напряжения снижаются на 30 %. Для упрощенной конструкции экспериментального образца (рис. 1, в) аналогичное падение напряжений происходит на 20 %. Соответственно, несущая способность, определенная экспериментом, завышена на 20 %.



Рис. 1. Анализ упрощения формы реальной конструкции до экспериментального образца

Простейшее КТР соединения металлического бугеля и композитной оболочки реализуется благодаря интегральному способу сборки с максимальной адгезией по всем поверхностям контакта (рис. 2, а). Данное КТР можно модифицировать с помощью межслойного соединительного элемента. При жесткой фиксации соединительного элемента несущая способность полученного соединения растет благодаря более равномерному распределению напряжений в зоне контакта разнородных материалов (рис. 2, б). Реализуя межслойную прочность промежуточных слоев внутренними трансверсальными элементами и фиксируя соединительный элемент всего лишь парой слоев, получаем равномерное распределение напряжений в направлении нормали плоскости слоев (рис. 2, в). Все промежуточные фиксирующие слои композиционного материала, сам соединительный элемент и лапки бугеля деформируются совместно, тем самым повышая несущую способность соединения.

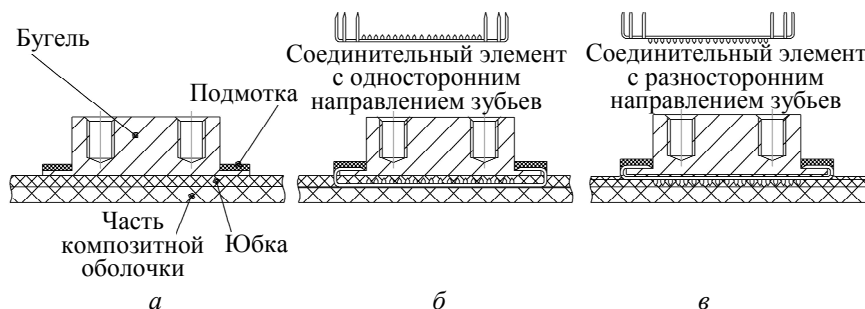


Рис. 2. Исследуемые КТР соединения

Процесс изготовления экспериментальных образцов включает в себя три этапа: подготовительные операции, направленные на производство готовых частей образца, формообразование и формование соединения готовых частей образца между собой, механическая обработка краев экспериментального образца и сверление отверстий под фиксацию в разрывной машине (рис. 3). Изготовлено пять видов КТР соединений бугеля со стеклопластиковой жесткой оболочкой. Одновременное приложение отрывного усилия и крутящего момента на стандартной разрывной машине осуществляется благодаря смещению образца относительно центра и приложению растягивающей силы к рычагу (рис. 4, а), сам же образец жестко соединяется с нижней траверсой разрывной машины в самом нижнем положении (рис. 4, б). Тяга имеет отклоне-

ние от нормали на 5° , но существенной погрешности при максимальном разнесении траверс не вызывает, так как составляет всего 0,5 %. Данная погрешность нивелируется в ходе статистической обработки данных результатов исследования.

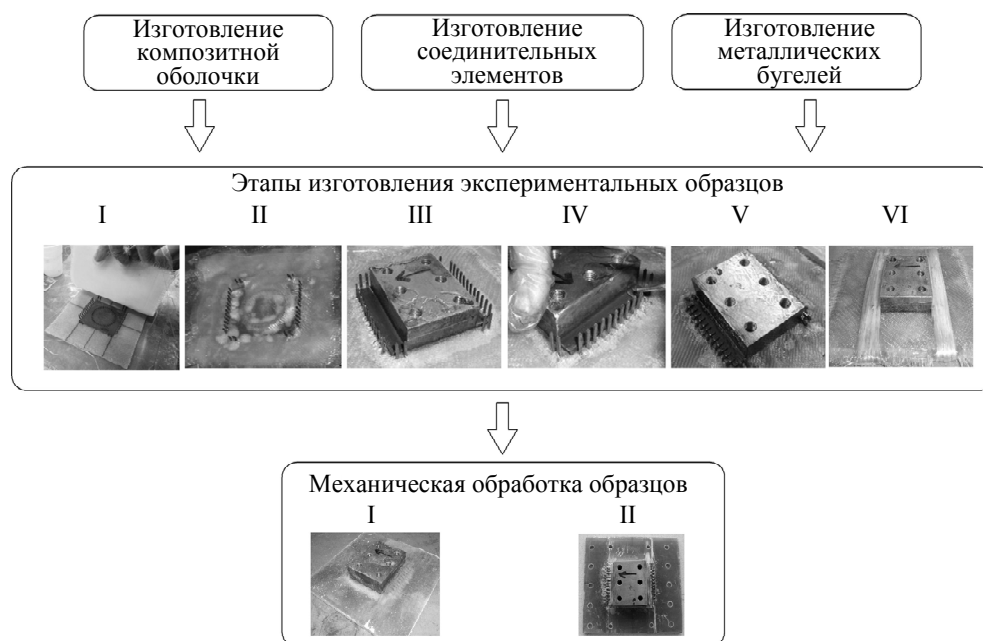


Рис. 3. Основные этапы изготовления экспериментальных образцов

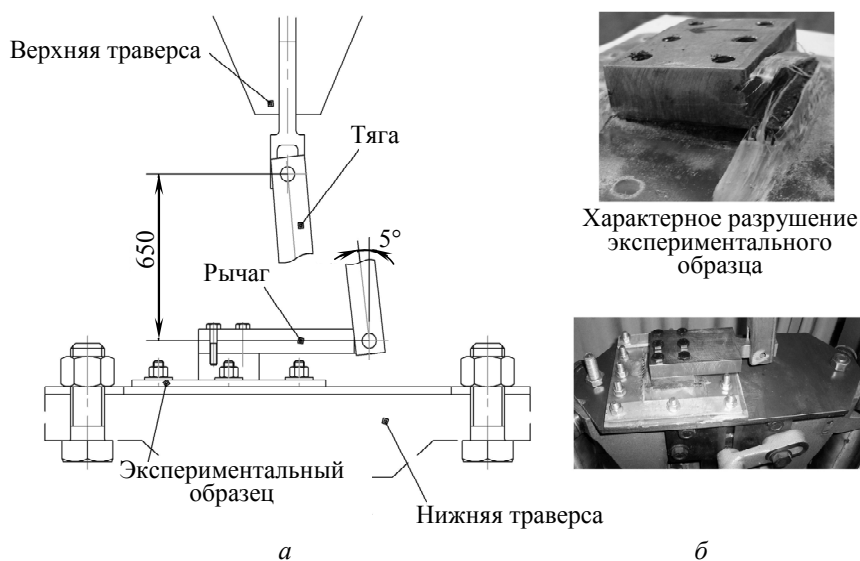
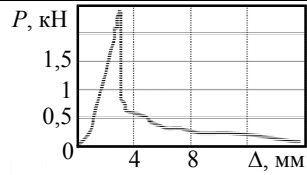
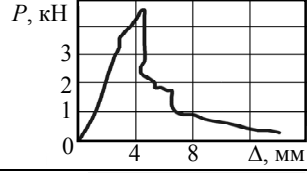
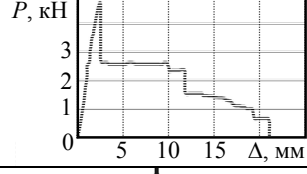
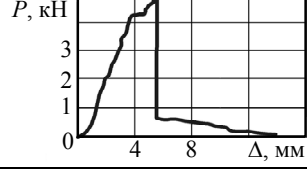
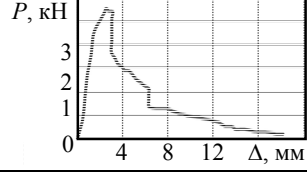


Рис. 4. Схема нагружения и закрепления экспериментальных образцов

Результаты. В таблице представлены результаты несущей способности при неравномерном отрыве различных видов КТР соединения бугеля с композитной оболочкой, а также диаграммы разрушения, позволяющие оценить живучесть соединения. Самая эффективная модификация КТР соединения достигла прироста несущей способности на 130 %.

Результаты проведенных экспериментальных исследований для каждого типа КТР соединения

Конструктивно-технологическое решение соединения	Средняя несущая способность каждого КТР соединения, кН	Диаграммы разрушения экспериментальных образцов
Адгезионное соединение, усиленное подмоткой	2,4	
Адгезионное соединение на основе соединительного элемента с односторонним размещением зубьев, усиленное подмоткой	4,6	
Адгезионное соединение на основе соединительного элемента с односторонним размещением зубьев, усиленное подмоткой двойной толщины	4,75	
Адгезионное соединение на основе соединительного элемента с односторонним размещением зубьев	5,1	
Адгезионное соединение на основе соединительного элемента с противоположно направленными зубьями	5,5	

Выводы. В ходе экспериментального исследования несущей способности различных видов КТР соединений бугеля с композитным основанием подтверждено положительное влияние соединительного элемента благодаря реализации межслойной прочности и равномерному распределению напряжений в зоне соединения. Конечно-элементным моделированием оценена погрешность упрощения формы экспериментального образца, которая составила 20 %. Внедрение соединительного элемента удваивает предельную несущую способность соединения с 2,4 до 5,5 кН. Выявленное нарушение адгезионной прочности при разрушении вызывает необходимость обязательного нанесения дополнительного клеевого слоя на внедряемый соединительный элемент и на контактную поверхность бугеля. В качестве подслоя в данном исследовании использован клей ВК-25. Толщина подмотки не оказывает существенного влияния на несущую способность. В то же время увеличение толщины подмотки повышает живучесть данного соединения.

Литература

1. Карпов, Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов [Текст] / Я.С. Карпов; Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т". — Харьков: ХАИ, 2010. — 767 с.
2. Черевашенко, А.С. Конструктивно-технологические решения соединений металл-композит, работающих на отрыв / А.С. Черевашенко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. — 2013. — Вип. 1(73). — С. 14 — 20.

3. Карпов, Я.С. Соединения высоконагруженных деталей из композиционных материалов. Сообщение 1. Конструктивно-технологические решения и оценка их работоспособности / Я.С. Карпов // Проблемы прочности. — 2006. — № 3. — С. 23 — 33.
4. Карпов, Я.С. Проектирование и конструирование соединений деталей из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов, С.П. Кривенда. — Харьков: ХАИ. — 128 с.

References

1. Karpov, Ya. S. Proektirovanie detaley i agregatov iz kompozitov [Designing composite parts and aggregates] [Text] / Ya.S. Karpov; Nats. aerokosm. un-t im. N.Ye. Zhukovskogo "Khar'k. aviats. in-t" [Nat. Aerosp. Univ. named after N.Ye. Zhukovsky "Kharkov Avia. Inst."]. — Khar'kov, 2010. — 767 p.
2. Cherevashchenko, A.S. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya soedineniy metall-kompozit, rabotayushchikh na otryv [Design and technological solutions of metal-composite compounds undergoing tearing-off] / A.S. Cherevashchenko // Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktivnykh letatel'nykh apparatov [Questions of Design and Production of Aircraft Constructions]. — 2013. — Iss. 1(73). — pp. 14 — 20.
3. Karpov, Ya.S. Soedineniya vysokonagruzhennykh detaley iz kompozitsionnykh materialov. Soobshchenie 1. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya i otsenka ikh rabotosposobnosti [Joining high-loaded composite parts. Report 1. Design and technological solutions and their performance evaluation] / Ya.S. Karpov // Problemy prochnosti [Problems of Strength]. — 2006. — #3. — pp. 23 — 33.
4. Karpov, Ya.S. Proektirovanie i konstruirovaniye soedineniy detaley iz kompozitsionnykh materialov [Designing composite part joints] [Text] / Ya.S. Karpov, S.P. Krivenda. — Khar'kov. — 128 p.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

Г.С. Бекетова. Дослідження несучої здатності конструктивно-технологічних рішень з'єднання бугеля з композитними конструктивними елементами. Розроблено конструктивно-технологічні рішення з'єднань бугеля з конструктивними елементами з композиційного матеріалу, які зазнають відривного зусилля і крутного моменту. Проведено моделювання методом скінченних елементів у пакеті Solid Works за оцінкою впливу зміни форми і розмірів досліджуваної конструкції на критичні напруження, що виникли під дією навантажень в контактних зонах з'єднання. Спроектовано та виготовлено експериментальні зразки для проведення випробувань на нерівномірний відрив. Виготовлено і випробувано спеціальний пристрій, що дозволяє навантажувати розтяжним зусиллям і крутним моментом одночасно на стандартній розривній машині. Результатами експериментальних досліджень є конструктивно-технологічні рішення з'єднань, що підвищують несучу здатність від 90 до 130 % відносно початкового способу з'єднання. Підвищення міжшарової міцності конструкції досягається завдяки впровадженню з'єднувального елемента. Запропоновано технологічну рекомендацію щодо клейового шару на металевих елементах конструкції, а також зроблено висновок про вплив підмотки на живучість з'єднання.

Ключові слова: композиційний матеріал, з'єднання, нерівномірний відрив, несуча здатність.

A.S. Beketova. Исследование несущей способности конструктивно-технологических решений соединения бугеля с композитными конструктивными элементами. Разработаны конструктивно-технологические решения соединений бугеля с конструктивными элементами из композиционного материала, которые испытывают отрывное усилие и крутящий момент. Проведено моделирование методом конечных элементов в пакете Solid Works по оценке влияния изменения формы и размеров исследуемой конструкции на критические напряжения, возникшие под действием нагрузок в контактных зонах соединения. Спроектированы и изготовлены экспериментальные образцы для проведения испытаний на неравномерный отрыв. Изготовлено и опробовано специальное приспособление, позволяющее нагружать растягивающим усилием и крутящим моментом одновременно на стандартной разрывной машине. Результатами экспериментальных исследований являются конструктивно-технологические решения соединений, повышающие несущую способность от 90 до 130 % относительно первоначального способа соединения. Повышение межслойной прочности конструкции достигается благодаря внедренному соединительному элементу. Предложена технологическая рекомендация о клеевом подслое на металлических элементах конструкции, а также сделан вывод о влиянии подмотки на живучесть соединения.

Ключевые слова: композиционный материал, соединение, неравномерный отрыв, несущая способность.

A.S. Beketova. Study of the carrying capacity of design and technological solutions for bracket joint with composite structural elements. Design and technological solutions for bracket joints with composite structural elements under tear-off force and torque are developed. The results of the simulation of finite element method in SolidWorks package to equate the influence of changes in the shape and size of the studied design on the critical tension arising under load in the contact zones of the connection are obtained. The experimental samples for testing uneven tearing-off are designed and fabricated. A special device that allows the tensile force and torque to be loaded simultaneously on a standard tensile testing machine is

manufactured and tested. The structural and technological solutions of joints that increase the carrying capacity from 90 to 130 % relative to the original method of connection are the results of experimental studies. Increase of interlayer structural strength is achieved through embedded connector. Technical recommendations on the adhesive sublayer on metal structural elements is offered; the conclusion about the impact on the viability of the joint is drawn as well.

Keywords: composite material, joint/compound, uneven tearing-off, carrying capacity.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Нац. аерокосм. ун-та ім. Н.Е. Жуковського “ХАІ” Шевцова М.А.

Поступила в редакцію 16 июня 2014 г.

UDC 620.197.5+621.9.047

V.I. Osipenko, Dr. Eng., Prof.,
A.P. Plakhotny, Ph.D., Assoc.Prof.,
A.Yu. Denisenko, M.Sc. student,
Cherkassy State Technological University

IMPROVED METHODOLOGY FOR CALCULATING THE PROCESSES OF SURFACE ANODIC DISSOLUTION OF SPARK ERODED RECAST LAYER AT ELECTROCHEMICAL MACHINING WITH WIRE ELECTRODE

Introduction. The EDM in general and carved finishing by wire electrode in particular have become an alternative to mechanic processing in tool production, manufacturing of complex-shape parts of dies, molds, etc. With further development of EDM technology a pertinently urgent task, as for any other type of metal processing, relates to improving properties of the original surface. The most effective way to provide the required surface finish qualities represents combined use of consecutively applied electrical discharge technology and electrochemical treatment with wire electrode.

Analysis of recent research and publications. According to many researchers in the field [1, 2] the EDM process embodies a thermal one, when the material is removed by high energy electrical discharges. A concentrated heat flow directed onto a small workpiece surface area initiates both local melting and evaporation of the molten material. Depending on the time-dependent distribution of spark energy, only 10...20 % of the molten material is evaporated, and about 20...40 % is splashed out as a liquid from the wells under high pressure at breakdown path [3]. The remaining molten material solidifies and creates a white modified layer surface. This layer, specific with a high microhardness contains residual stresses, having a network of cracks and microfractures and usually consists of wire electrode transferred material, oxides and carbides. Moreover, that surface roughness is high and depends on the technological conditions of pulsed current EDM process. Thus, there exists a need for improving the surface texture and removing the surface layer, ameliorating therefore the product performances.

DOI: 10.15276/opu.1.43.2014.10

© V.I. Osipenko, A.P. Plakhotny, A.Y. Denisenko, 2014