

УДК 621.98.044: 629.7 +620.17 +620. 22-4

М. Е. ТАРАНЕНКО, И. М. ТАРАНЕНКО

СРАВНЕНИЕ ТЕХПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ ТРАНСВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведено аналіз результатів рішення низки науково-технічних задач комплексної проблеми інженерії полімерних композитних матеріалів у Національному аерокосмічному університеті ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». Наведено порівняння технологічних параметрів виготовлення технологічних просторових елементів для з'єднань деталей з композитів з металом. Традиційний процес штампування з металевих стрічок у штампах, обмежує виготовлення деталей зі стрічок високоміцних титанових сплавів. Пропонований процес лазерне підрізування зубців і їх відгин високошвидкісним струменем рідини, що отримується при електрогідрравлічному розряді, використовується для розподілу нержавіючих сталей та титанових сплавів. Основні переваги нового технологічного процесу полягають у відсутності необхідності виготовлення складного штампного оснащення і істотному поліпшенні якості поверхні елементів деталі, що відгинаються, що припускає зниження вірогідності руйнування волокон композиту. Гнуття зубців деталі високошвидкісним струменем рідини за пропонованою технологією, вимагає створення несерійної електрогідрравлічної установки. Вартість такої установки значно менше у порівнянні з традиційним обладнанням, а продуктивність вище. Встановлено, що для обробки нових матеріалів економічно доцільно використання нових технологічних процесів, що забезпечують високу якість.

Ключові слова: штампування зубців, тонколистова заготовка, лазерне гнуття, високошвидкісний струмінь рідини

Приводится анализ результатов решения ряда научно-технических задач комплексной проблемы инженерии полимерных композитных материалов в Национальном аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Приведено сравнение технологических параметров изготовления технологических пространственных элементов для соединений деталей из композитов с металлом. Традиционный процесс – штамповка из металлических лент в штампах, ограничивает изготовление деталей из лент высокопрочных титановых сплавов. Предлагаемый процесс – лазерная нарезка зубцов и их отгиб высокоскоростной струей жидкости, получаемой при электрогидравлическом разряде, применим для разделения нержавеющей сталей и титановых сплавов. Основные преимущества нового технологического процесса заключаются в отсутствии необходимости изготовления сложной штамповой оснастки и существенном улучшении качества поверхности отгибаемых элементов детали, что предполагает снижение вероятности разрушения волокон композита. Гибка зубцов детали высокоскоростной струей жидкости по предлагаемой технологии, требует создания несерийной электрогидравлической установки. Ее стоимость несоизмеримо меньше в сравнении с традиционным оборудованием, а производительность выше. Установлено, что для обработки новых материалов экономически целесообразно применение новых технологических процессов, которые обеспечат высокое качество.

Ключевые слова: штамповка зубцов, тонколистовая заготовка, лазерная гибка, высокоскоростная струя жидкости

Analysis of solution results for series of scientific technical problem of complex problem of composite materials engineering in Zhukovsky National aerospace university "Kharkiv Aviation Institute" is shown. Comparison of technological parameters at manufacturing technological spatial elements for joining composite articles with metal is conducted. Conventional process is forming of metal strips in forming dies but it restricts of articles producing of high-strength titanium alloys. Suggested novel process of laser cutting of teeth with their consequent bending by high-speed jet of liquid getting at electrohydraulic digit can be applied for separation of stainless steels and titanium alloys. Basic advantages of novel technological process consist in absence of necessity of complicated stamp rigging making and substantial improvement of quality of surface of article elements to be bent, that supposes decreasing of probability of composite fibers failure. Bending of article teeth of by high-speed jet of liquid on the offered technology requires creation of low-volume electro-hydraulic installation. The cost of installation is significantly less comparing with conventional equipment but performance is higher. It is found that to process novel materials with high economic efficiency one has to use novel manufacturing processes guaranteeing high quality of product.

Keywords: stamping of teeth, thin-walled blank, laser bending, high-speed jet of liquid.

Введение. При соединении волокнистых композитных деталей между собой или с металлическими элементами конструкций используют так называемые, трансверсальные элементы [1]. Их назначение – перераспределить касательные напряжения в зоне соединения на всю толщину композиционного материала.

Основная часть. Трансверсальные элементы представляют собой ленту толщиной 0,3...0,7 мм с надрезанными и отогнутыми на 90° клинообразными зубцами (рис. 1). Зубцы располагаются с шагом 5...10 мм (по двум направлениям). Их высота 5...7 мм. Длина элемента может достигать 150...250 мм, ширина 50 мм. В таких случаях зубья расположены в несколько рядов.

Основные технологические требования к их форме сводятся к следующему:

- торцевые профили зубцов не должны иметь заусенцев с острыми кромками;
- радиус скругления вершины не более толщины ленты;

– предпочтительно, чтобы фронтальная поверхность зубца не была плоской, а имела некоторую кривизну в продольном направлении.

Материал лент – титановые и алюминиевые (реже) сплавы, нержавеющие и углеродные стали.

Названные технические требования резко усложняют технологический процесс изготовления таких элементов традиционной штамповкой. Это обусловлено технологическими причинами.

Малая толщина лент вызывает необходимость применения безззорных штампов для надрезов зубьев. А это, в свою очередь, обуславливает применение оптикошлифовальных станков для обработки режущих кромок штампов.

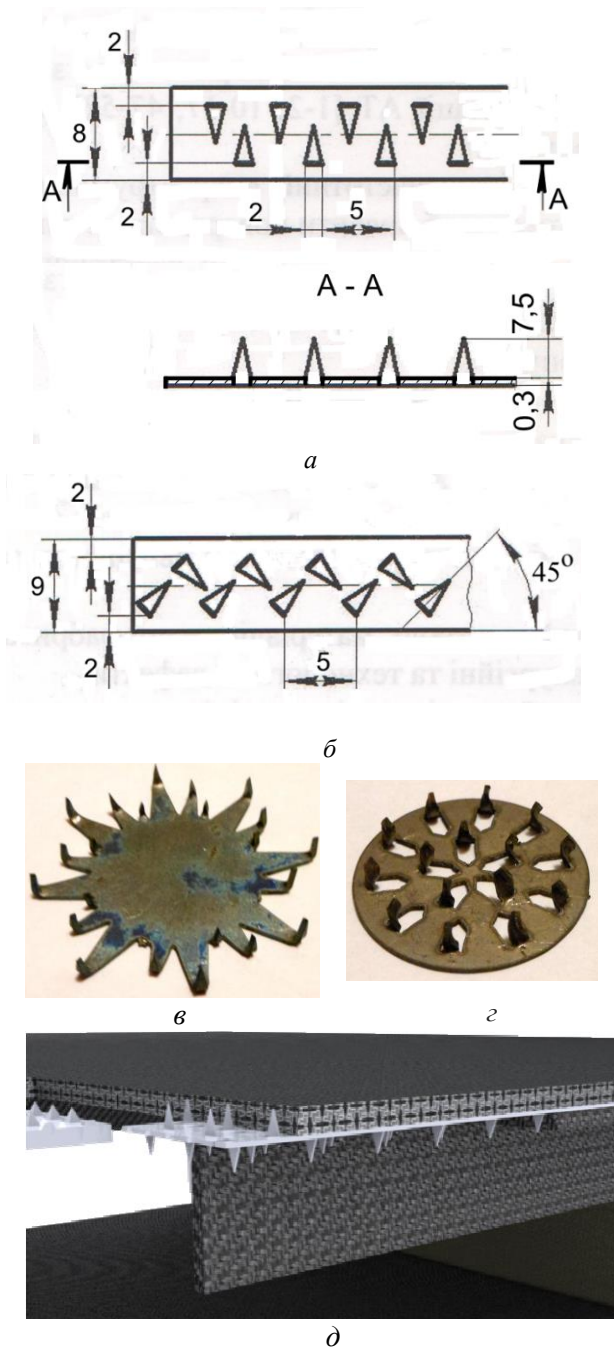


Рис. 1 – Эскизы трансверсальных элементов:
а, б – варианты расположения зубцов на ленте;
в, г – металлические прокладки в виде шайбы;
д – 3-D модель выполнения соединения композитных
деталей

Малые радиусы скругления вершины зубца не упрощают изготовления штампа. В качестве примера на рис. 2 приведен эскиз конструкции матричной полости для надрезания зубцов на лентах из штампованных сплавов. В этом случае матрица должна быть выполнена двухсекционной для четкого оформления вершины зубца. Режущие кромки секционных вставок должны быть изготовлены твердосплавными для уменьшения шероховатости надрезанных кромок. Кромка матрицы, вокруг которой производится отгиб, должна иметь радиус

скругления 3...5 толщины ленты. Секции матрицы должны быть съемными для перезаточки, так как их приемлемая стойкость кромок близка к 5 (пяти) надрезам. А это мало для названной номенклатуры деталей – периметр охвата такой конструкции затрудняет последовательное изготовление зубцов.

Форма зубцов трансверсальных элементов может быть не только клиновидной формы, но и, например, гарпунообразной или в форме "ерша". Это значительно усложняет изготовление штампов и их стоимость.

Применение лазерной надрезки позволяет легко настраивать процесс под любую заданную форму зубца путем изменения программы перемещения позиционирующего устройства.

Для отгиба подреза сложной формы не требуются изменения формы поперечного сечения высокоскоростной струи жидкости.

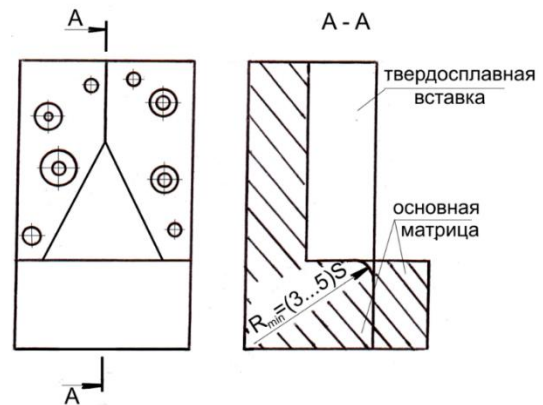


Рис. 2 – Секции твердосплавной матрицы охватываемые в закаленной обойме (на рис. не показана) по посадке H7/p6

Малый шаг расположения зубцов вызывает необходимость их поочередной штамповки, что также усложняет оснастку и удлиняет технологический процесс штамповки:

- применяемые материалы лент плохо обрабатываются в операциях надрезки (образуются сколы и заусеницы). А это требует их последующей зачистки;

- необходимость отгиба зубьев с минимальными радиусами ихгиба трудно выполнима для лент из титановых сплавов.

Рекомендуемые радиусыгиба для титана и его сплавов находятся в пределах 3...5 толщины заготовки [1].

Несоблюдение последней особенности приводит к образованию трещин у основания зубца, их разрушению и, в общем, к непрогнозируемому снижению несущей способности соединения [2].

Для алюминиевых сплавов эти радиусы скругления можно допустить соизмеримыми с толщиной лент, но существует вероятность коррозии на поверхностях контакта углеволокна с алюминиевыми сплавами.

Традиционный технологический процесс изготовления подобных деталей включает

следующие операции: надрезка углового контура в штампе (чаще по секциям). Гибка надрезанных участков и зачистные операции (гальванические или электрохимические).

Цель работы – разработать техпроцесс применимый для разделения нержавеющей сталей и титановых сплавов.

Предлагаемый технологический процесс заключается в надрезке углового контура лазерной резкой и гибка надрезанных участков на угол 90° импульсной струей жидкости с приданием отогнутому участку не плоского сечения.

Явными преимуществами технологического процесса являются:

- сокращение количества операций из-за возможности не применения зачистных операций. Лазерная надрезка обеспечивает оплавление края реза шириной до 0,06 мм;

- сокращение потребной оснастки (сложный надрезают штамп);

- нет необходимости применения листоштампованого оборудования.

Недостатки: потребность установки для лазерной резки и устройства для получения импульсных струй жидкости.

Рассмотрим подробнее и сравним преимущества и недостатки этих двух техпроцессов.

По современным данным [3, 4] стоимость лазерной резки конструкционных и композитных тонколистовых сталей находится в пределах 5,5...8,0 грн./м. Это соответствует стоимости и порезки одного клинообразного элемента высотой 7 мм около 0,04...0,06 грн./м. Стоимость лазерной установки небольшой мощности, потребной для резки тонколистового материала составляет несколько тысяч долларов США, но с учетом ее универсальности и производительности для массового изготовления подобных элементов составляет малую сумму для изготовления одного трансверсального элемента.

Для отгиба надрезанного участка ленты предлагается использовать электрогидравлическое устройство, метаящее струю воды (рис. 3). Подобные устройства используются для листовой штамповки, обрезки по контуру, имеющему сложную форму и др. Но при таких разделительных операциях трудно избегать образования мелких заусенцев. Малые размеры зубцов и шага их расположения затрудняют использование надрезки и гибо эластичной среды.

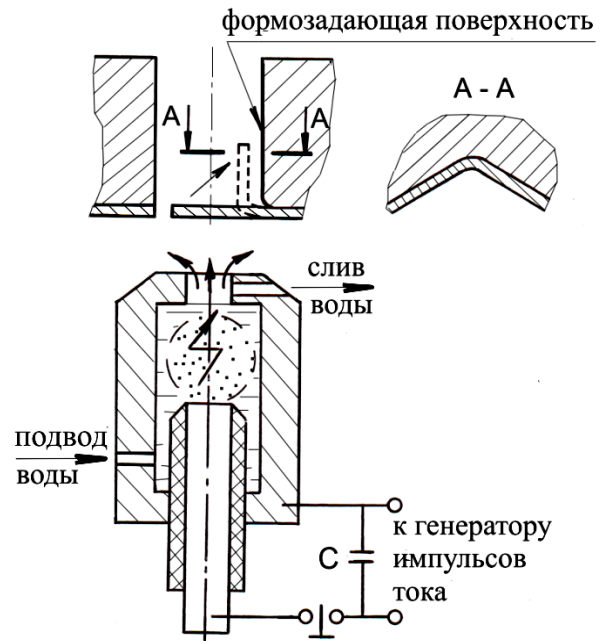


Рис. 3 – Схема электрогидравлического устройства, для гибки надрезанных участков на угол 90° импульсной струей жидкости с приданием отогнутому участку неплоского сечения

Устройство состоит из разрядной камеры, в которой находится электрод с высоковольтной изоляцией. Полость камеры заполнена водой. Которая постоянно обновляется. При подаче высокого напряжения с конденсатора С на электрод и корпус камеры в ее полости происходит электрогидравлический разряд. Он приводит к образованию Парогазового пузыря (показан пунктиром), который выталкивает находящуюся над ним жидкость в сопло камеры с высокой скоростью. Эта жидкость, подлетает к заготовке. Давит на надрезанный участок и заставляет его отгибаться с высокой скоростью. Отгибаемый участок сталкивается с формозадающей поверхностью, деформируясь по ней.

Работа деформации при отгибе элемента из титанового сплава 300...5000 Дж. А, следовательно, запасаемая энергия электрогидравлического устройства можно оценить по зависимости

$$W_{зан} = \bar{\eta}' A_{деф},$$

где $W_{зан}$ – потребная запасаемая энергия; η – к. п. д. процесса гибки струей, который находится в диапазоне 0,1...0,5; $A_{деф}$ – работа деформации при изгибе.

В результате такой оценки получаем $W_{зан} = 2...5$ кДж.

При рабочем напряжении современных электрогидравлических установок до 45 кВ и широко используемых импульсных конденсаторов типа ИКМ это соответствует батарее генераторов импульсных токов состоящей из 1-2 банок конденсаторов.

Выводы. Такая электрогидравлическая установка проста, не требует массивных прижимных устройств и дешево.

При необходимости поперечного изгиба зубцов соответственно профилируется гибочная оправка и поперечный изгиб происходит под давлением сил инерции перемещающегося зубца.

Устройство позиционирования может быть выполнено на компьютеризированном координатном столе, аналогичном используемому на станках для лазерной резки.

Приведенные соображения позволяют сделать вывод о преимуществах технологического процесса изготовления тонколистовых трансверсальных элементов сочетающих лазерную надрезку зубцов и электрогидравлическую отбортовку.

Список литературы

1. Карпов, Я. С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов : учебник / Я. С. Карпов. – Х : Нац. аэрокосмич. ун-т «ХАИ», 2010. – 768 с.
2. Справочник конструктора штампов: листовая штамповка / под ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.

3. Коцюба, А. А. Новые конструктивно-технологические решения соединений композитных изделий в практике ГП «Антонов» / А. А. Коцюба, А. З. Двейрин, Я. О. Головченко // Технологические системы. Научно-технический журнал. – Киев, 2016, № 1 (74). – С. 19–25.
4. Режим доступа: www.lona.kh.ua/serv.ce/plazmenna/anezka. Дата обращения: 06.12.2016 г.

Bibliografy (transliterated)

1. Karpov, Ya. Proektirovanie detalej i agregatov iz kompozitov: uchebnik [Designing of articles and units of composites: textbook] – Kharkiv : Nac. ajerokosm. un-t “HAI”, 2010. 768 p.
2. Spravochnyk konstruktora shtampov: lystovaya shtampovka [Reference book of jig designer: sheet forming] pod red. L. Y. Rudmana. – Moscow : Mashynostroenye Publ., 1988. 496 p.
3. Kotsyuba, A. A., Dveyrin, A.Z., Golovchenko, Ya.O. Novye konstruktivno-tekhnolohycheskye reshenyya soedynenyu kompozytnykh yzdelyy v praktyke HP «Antonov» [Novel structural-manufacturing solutions of composite article joints in practice of “Antonov” company] // Tekhnolohycheskye systemy. Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal. – Kyev. Publ., 2016, No. 1(74). – pp. 19–25.
4. Rezhym dostupa: www.lona.kh.ua/serv.ce/plazmenna/anezka. Data obrashchenyya: 06.12.2016.

Поступила (received) 14.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографическое описание / Bibliography dicriptions

Сравнение техпроцессов штамповки тонколистовых трансверсальных элементов / М. Е. Тараненко, И. М. Тараненко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 64–67. – Библиогр.: 4 назви – ISSN 2519-2671.

Порівняння техпроцесів штамповки тонколистових трансверсальних елементів / М. Є. Тараненко, І. М. Тараненко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 64–67. – Библиогр.: 4 назви – ISSN 2519-2671.

Comparison of manufacturing processes of stamping for thin-walled transversal elements / М. Е. Taranenko, I. M. Taranenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for processing materials in engineering and metallurgy. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No43 (1265). – P. 64–67. – Bibl: 4. – ISSN 2519-2671.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Author

Тараненко Михаил Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, тел.: (057) 788-41-70, e-mail: m.taranenko@khai.edu.

Тараненко Михайло Євгенович – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, тел.: (057) 788-41-70, e-mail: m.taranenko@khai.edu.

Mykhaiko Taranenko – Full Professor, National Aerospace University “Kharkiv aviation institute” named after N. Ye. Zhukovsky, Kharkiv, tel.: (057) 788-41-70, e-mail: m.taranenko@khai.edu.

Тараненко Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, тел.: (057) 788-48-84, e-mail: igor.taranenko@khai.edu.

Тараненко Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, тел.: (057) 788-48-84, e-mail: igor.taranenko@khai.edu.

Igor Taranenko – candidate of engineering sciences, associate professor, National Aerospace University “Kharkiv aviation institute” named after N. Ye. Zhukovsky, Kharkiv, tel.: (057) 788-48-84, e-mail: igor.taranenko@khai.edu.