

5. Ш е в е ж е в В.В., Я к о в л е в С.П. Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку. М., "Машиностроение", 1977.

6. Экспресс-информация. Серия "Технология и оборудование кузнечно-штамповочного производства", 1965, № 14.

7. А р ы ш е н с к и й Ю.М., К а л у ж с к и й И.И. Некоторые особенности структуры материальных тензоров теории пластичности ортотропных сред. Сб.: "Теория и технология обработки металлов давлением". Куйбышев, 1977.

УДК 621.961.2: 669.018.95

Ю.В.Крылов, Ю.А.Москалев,
С.И.Козий, Г.Г.Кантер,
В.А.Глушечков, В.Ю.Арышенский

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАКОНЦОВОК
ТРУБЧАТЫХ ТЯГ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В настоящее время в конструкциях летательных аппаратов находят применение трубчатые тяги, стойки, подкосы и прочие силовые элементы (агрегаты), выполненные с применением полимерных композиционных материалов - углепластиков и боропластиков.

Поскольку подобные элементы конструкции в процессе эксплуатации испытывают действие значительных растягивающих и сжимающих осевых нагрузок, их работоспособность значительно зависит от конструкции узлов крепления и способа их соединений с трубчатой частью, изготовленной из композиционного материала.

Известны различные виды клеевых и клее-механических соединений металлических узлов крепления с цилиндрическими или коническими законцовками трубы [1, 2, 3]. Однако они недостаточно технологичны, так как имеют сложную конфигурацию сопряжений, требуют повышенную точность механической обработки сопрягаемых поверхностей. Установка таких узлов крепления связана со значительными затратами ручного труда. Кроме того, эти виды узлов крепления не обеспечивают достаточной прочности и надежности трубчатых силовых элементов, так как под действием предельных осевых нагрузок раз-

рушение происходит в самом узле крепления, или в непосредственной близости от него.

В результате экспериментальных исследований трубчатых элементов конструкций были разработаны конструкция типового узла крепления и способ его установки на трубчатую тягу из композиционного материала. Установка концевых узлов крепления производилась с использованием концентрического обжима законцовок тяги импульсным магнитным полем.

Данный способ установки узлов крепления позволяет: упростить конструкцию узлов крепления; снизить трудоемкость технологического процесса изготовления тяг; повысить прочность соединения узлов крепления и трубчатой части тяги, выполненных из разнородных материалов.

В целях исследования возможности применения для формирования законцовок трубчатых силовых элементов импульсного магнитного поля была разработана, изготовлена и испытана экспериментальная тяга управления, имеющая расчетные растягивающую и сжимающую нагрузки соответственно 56000 и 27750 н. Трубчатая часть тяги выполнялась из однонаправленного углепластика КМУ-3л. Детали узлов крепления изготавливались из алюминиевых сплавов.

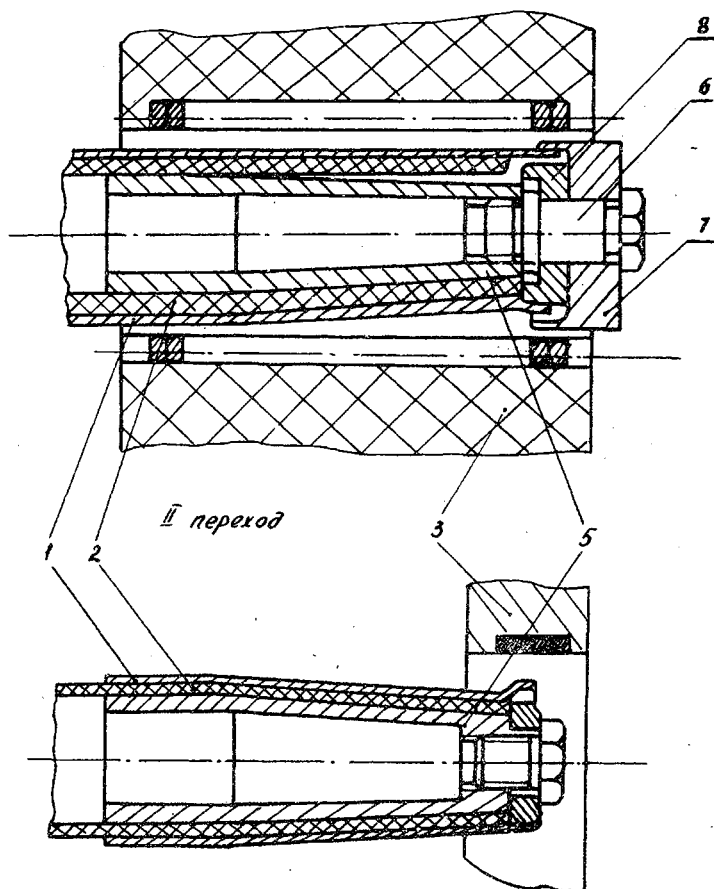
Конструкция заделки концевого участка тяги показана на рис.1. Гильза 1 из сплава АМг2М и концевая часть углепластиковой трубы 2 плотно охватывает конус 3 и втулку 4 из сплава Д16Т. В резьбовое отверстие конуса 3 ввернута проушина 5, зафиксированная гайкой 6. Для дополнительного усиления гильза 1 и труба 2 имеет оболочку 7, выполненную из кольцевых слоев углепластика КМУ-3л на основе высокомолекулярного углеродного жгута. Цилиндрическая центрирующая часть конуса 3 дополнительно крепится к внутренней поверхности трубы 2 клеем К-4С.

При приложении растягивающей нагрузки усилие, приложенное к проушине, стремится извлечь конус из концевой части трубы, чему препятствуют коническая гильза, усиленная внешней оболочкой, и клеевое соединение конуса с трубой. При действии сжимающей нагрузки усилие от пружины передается на трубу через гайку и втулку, упирающуюся в торец трубы.

Такая конструкция заделки обеспечивает равномерную передачу усилий от узлов крепления на трубчатую часть тяги.

В комплект технологической оснастки входят: индукторы для обжима законцовок и завальцовки конца гильзы на втулку, центриру-

I переход



Р и с. 1. Технологическая схема штамповки законцовок тяг: 1 - труба из *Al* - сплава; 2 - труба из композита; 3 - индуктор I или II Перехода; 4 - кольцо; 5 - оправка; 6 - болт; 7 - кольцо центрирующее; 8 - вкладыши

щие вкладыши для установки конусов внутри трубы, технологические болты крепления втулок с конусом, печь с контрольной термопарой для нагревания законцовок тяги.

Рабочие характеристики индукторов

Длина рабочей части	Обжимной индуктор	Завальцовочный индуктор
обмотки, мм	120	20
количество витков	15	6
внутренний диаметр, мм	45	45
энергия разряда, кДж	I2-I6	2-3

Операции обжима и завальцовки производились на магнитно-импульсной установке МИУ-20 с рабочими параметрами:

максимальная энергия разряда, кДж	20
емкость, мкФ	90
индуктивность, мкГ	0,126
частота, кГц	43

Непосредственно перед обжимом концевая часть трубы с установленными деталями узла крепления вводилась в электропечь и нагревалась до температуры $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ для обеспечения требуемой пластичности композиционного материала. Затем с помощью обжимного магнитно-импульсного индуктора формовалась коническая часть законцовки путем динамического деформирования алюминиевой гильзы, играющей роль детали-спутника, и размягченного концевого участка углепластиковой трубы вокруг конуса узла крепления. После охлаждения в воде в течение 0,5 мин производилась завальцовка кромки алюминиевой гильзы на втулку с помощью завальцовочного индуктора.

Разделение процесса формования законцовки тяги на два перехода объясняется различием потребной энергии разряда для выполнения обжима и завальцовки. Совмещение двух переходов в один приводит либо к продольному гофрообразованию на коническом участке законцовки, либо к появлению трещин на участке завальцовки.

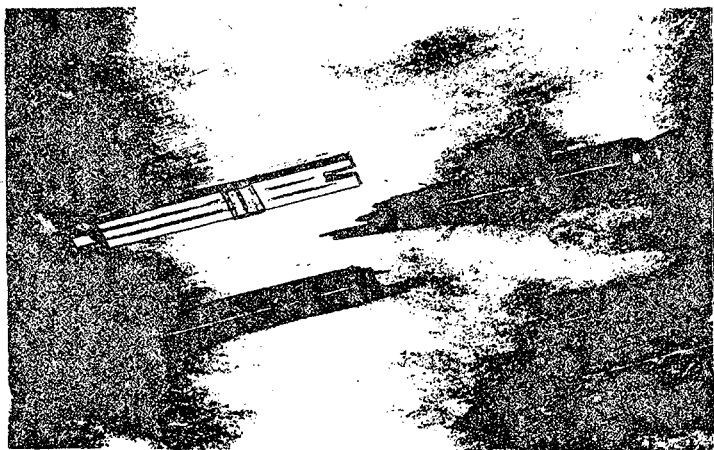
По окончании операции формования законцовок тяга устанавливалась на намоточный станок, и на ее внешнюю поверхность, включая конические концевые участки, наносился слой углеродного жгута.

Этот слой служит для радиального усиления гильз слоев углепластиковой трубы, защиты от механических повреждений и улучшения качества поверхности тяги.

На заключительном этапе технологического процесса изготовления тяги производится окончательная термообработка трубы и усиливающей оболочки при температуре 150°C в течение 4 ч, установка проушин и фиксация их с помощью гаек.

В описанной конструкции узла крепления используются лишь две металлические детали, требующие точной механической обработки - конус и втулка. При этом повышенная точность обработки для достижения плотного сопряжения требуется лишь по внешней цилиндрической центрирующей поверхности конуса. Остальные сопрягаемые поверхности соединяются между собой за счет обжима "по месту" с помощью импульсного магнитного поля.

Характеристики готовой тяги управления показаны на рис. 2.



Р и с. 2. Готовая тяга управления (после испытания)

Длина тяги - 780 мм, масса - 310 г, выигрыш веса по сравнению с аналогичной тягой из сплава Д16Т - 23%. В процессе экспериментальной отработки технологического процесса установки узлов крепления, включая обжим и завальцовку, длительность технологического процесса не превышала 0,5 ч, что примерно вдвое меньше длительности операций подгонки и сборки узлов крепления анало-

гичных элементов конструкций при использовании известных клеевых и механических соединений.

Оценка несущей способности тяги управления, изготовленной указанным способом, производилась посредством статических испытаний на сжатие и растяжение.

Для замера осевых и поперечных деформаций на поверхность тяги наклеены 12 тензодатчиков типа 2ПК5-10, соединенных с регистрирующим прибором ЭИД-3М.

После установки на испытательную машину тяга была плавно нагружена осевым сжимающим усилием 22000 н, соответствующим 80% расчетной растягивающей нагрузки, и в процессе нагружения замечались деформации трубчатой части и конических законцовок тяги. После этого тяга была нагружена растягивающей силой до окончательного разрушения с целью выявления места и характера разрушения и оценки прочности и деформативности участков заделки. Разрушающая нагрузка составила 62200 н, т.е. 112% от расчетной растягивающей нагрузки. Разрушение произошло на расстоянии около 150мм от одного из узлов крепления, что свидетельствует о достаточной надежности конструкции заделок тяги.

В ы в о д ы

1. Проведенные экспериментальные работы показали возможность магнитно-импульсного формования законцовок трубчатых силовых элементов конструкций из композиционных материалов, работающих на осевое сжатие и растяжение.

2. Способ концентрического обжима трубчатой детали из композиционного материала через металлическую конструктивно-технологическую деталь (гильзу) обеспечивает достаточную технологичность и несущую способность узла крепления.

3. Данный способ обеспечивает надежное соединение трубчатых деталей из КМ с металлическими узлами крепления. Он может найти применение при производстве трубчатых элементов конструкций, например, тяг, подкосов и стоек, передающих высокие осевые нагрузки.

Л и т е р а т у р а

1. AIAA Paper, 1972, № 393,9

2. К о л д и н з Т.А. Разработка углепластиковой спайки, системы управления элеронами, перевод ТПП № 2562/4.

3. Композиционные материалы в конструкции ДА. Сборник под ред. Абибова, М., "Машиностроение", 1976.