

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ 30ХГСН2А

Антибас И.Р., Зайцев В.В.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время использование композитных материалов находит всё большее применение в различных областях народного хозяйства, в том числе и авиационной промышленности. Материалы данной статьи посвящены исследованию применения композитных материалов для изготовления стойки шасси самолёта в сравнении с традиционно применяемой маркой стали. В результате проведённой работы было выяснено, что подкос, выполненный из углепластика проявил критическое напряжение вдвое выше, чем его конструкция, выполненная из стали марки 30ХГСН2А. Кроме того, углепластики превосходят высокопрочную сталь по показателям удельной прочности, жесткости и прочности при растяжении.

Ключевые слова. Сплав, композит, сталь, характеристика, высокопрочная, свойства.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS AND HIGH-STRENGTH STEEL 30FGSN2A

Antypes I.R., Zaitsev V.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. Currently, the use of composite materials is increasingly used in various areas of the national economy, including the aviation industry. The materials of this article are devoted to the study of the use of composite materials for the manufacture of aircraft landing gear in comparison with the traditionally used brand of steel. As a result of the work carried out, it was found that the slope made of carbon fiber showed a critical stress twice as high as its design made of 30xgsn2a steel. In addition, carbon plastics are superior to high-strength steel in terms of specific strength, stiffness, and tensile strength.

Keywords. Alloy, composite, steel, characteristic, high strength, properties.

Введение. Эксплуатация авиационных шасси проводится по установленным правилам в зависимости от сценария посадки самолёта. Для воздушных судов применимые нагрузки на шасси установлены в 14 CFR и находятся в пределах от 23,471 до 23,511 (GA). Для гидросамолетов посадочные нагрузки на корпус, указанные в этом же стандарте, составляют величину от 23,521 до 23,562 (GA). Для обычных самолетов существуют индивидуальные требования к посадке: только на основной передаче, посадке на три опоры и с учётом боковых ударных нагрузок. Величина этих нагрузок очень высока и они воздействуют на корпус лайнера как точечные нагрузки. В дополнение к ударным нагрузкам, шасси должно обеспечивать хорошие демпфирующие характеристики и должно позволять воздушному судну совершать руление по неровной поверхности без чрезмерных вибраций фюзеляжа. Самолет должен обладать хорошей, надёжной и безопасной системой торможения, чтобы он мог выдерживать любые условия торможения.

Важный вклад в развитие современного авиастроения внесло использование композитных материалов в конструкции самолётов. Отлитые в матрицу из эпоксидной смолы, они создали чрезвычайно прочные и стабильные материалы, которые заменяют алюминий и его сплавы. [1-3].

Основной опорой служит передняя стойка. Наиболее важные детали стойки шасси изготавливают из высокопрочных сталей. Для изготовления современных стоек применяется сталь, легированная 30ХГСН2А. В последнее время в авиастроении появилась новая ветвь – использование композитных материалов, которые характеризуются более высокой прочностью и легкостью, в сравнении с легированной сталью [4-6].

Целью нашей работы является выяснить преимущество использования композитного материала в изготовлении стойки шасси.

Для выполнения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Провести обзор имеющихся данных о свойствах легированных сталей и композитных материалов.

2. Провести расчеты критического напряжения.

Сталь 30ХГСН2А имеет высокие технологические и эксплуатационные свойства с хорошим сочетанием прочности и пластичности после закалки и отпуска. Эта марка отличается от обычных конструкционных сталей повышенным значением прочности и устойчивости к ударным нагрузкам. Предел текучести равен 820 МПа. Полное разрушение стали происходит при нагрузке 980 МПа. Предел выносливости стали равен 505 МПа [7].

В современных летательных аппаратах все чаще стали применять композитные материалы, важнейшим преимуществом которых является снижение веса, изготавливаемых из него деталей и конструкции воздушного судна в целом [8].

Самолет с меньшим весом более экономичен, поскольку для его эксплуатации требуется меньше топлива. Композиты также невероятно прочны и в результате имеют более высокое отношение прочности к весу, также известное как удельная прочность, чем металлы, используемые в конструкциях самолетов.

Кроме того, они противостоят сжатию и не ломаются при растяжении. Композитные материалы не подвержены коррозии в агрессивных средах и устойчивы ко многим химически активным химическим веществам. Они также могут справляться с большими колебаниями температуры и воздействием суровой погоды. Другим большим преимуществом композитов является их гибкость при дизайне, так как могут принимать практически любую форму конфигурации. Одна такая необычная деталь из композита может заменить множество деталей простой формы из других материалов. Такая полезная характеристика сокращает расходы на техническое обслуживание и, следовательно, может сократить расходы в течение всего срока службы самолета [9-11].

Согласно ГОСТ Р 57407-2017 «Волокна углеродные. Общие технические требования и методы испытаний» следует: углеродное волокно - синтетический материал, полученный путем термообработки химических или природных нитей (прекурсоров) и термообработки исходных химических или природных волокон (прекурсоров) и характеризующийся высоким содержанием (до 99,9% по массе) углерода. Сравнительная характеристика углепластиков и стали представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства композитного материала и стали 30ФГСН2А.

Материал	Плотность, кг/м ³	Прочность при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Удельная прочность, Е ×10 ³ , МПа	Удельный модуль Юнга, Е×10 ⁶ , МПа	Ударная вязкость, КДж/м ²
Угле-пластик	1450-2000	780-1800	120-130	53-112	9-20	90
Сталь 30ФГСН2А	7770	1620	200-210	18	2,7	590

Из таблицы видно, что углепластики превосходят высокопрочную сталь по показателям удельной прочности и жесткости, а также прочности при растяжении. Так же можно отметить, что композитные материалы более легкий материал, в сравнении со сталью [1].

В ходе работы были проведены расчеты:

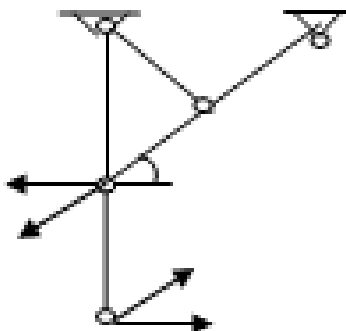


Рисунок 1 – Расчетная схема

$G_{ла} = 1588677 \text{ Н}$, $f = 1,4 \text{ Р}_{под} \times 245^\circ$, $n_{ш} = 2,5 \text{ Р}_{под}$, $l_{1,3} = 1,7 \text{ м}$, $l_{2,3} = 0,7 \text{ м}$, 1 Р_x , $d = 0,050 \text{ м}$.

Материал подкоса – углепластик:

$$\sigma_B = 1600 \text{ МПа},$$

$$E = 0,72 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Определяется сила P_x :

$$P_x = T = 0,3 \cdot G_{\text{ла}} \cdot f_k \cdot n,$$

где $G_{\text{ла}}$ – максимальный вес летательного аппарата, Н;

f_k – коэффициент сцепления колеса с поверхностью;

n – перегрузка.

$$P_x = T = 0,3 \cdot G_{\text{ла}} \cdot f_k \cdot n = 0,3 \cdot 1588677 \cdot 1,4 \cdot 2,5 = 1668110 \text{ Н.}$$

Составляется сумма моментов и находится сила $P_{\text{под } x}$:

$$\sum M_x = P_x \cdot l_{1,3} - P_{\text{под } x} \cdot l_{2,3} = 0,$$

$$P_{\text{под } x} = \frac{P_x \cdot l_{1,3}}{l_{2,3}} = \frac{1668110 \cdot 1,7}{0,7} = 1668110 \text{ Н.}$$

Так как подкос расположен под углом в 45° к горизонтали, то находится осевая сила, действующая в подкосе:

$$P_{\text{под}} = \frac{P_{\text{под } x}}{\cos 45} = \frac{1668110}{\cos 45} = 3175539 \text{ Н.}$$

Определяется расчётная нагрузка:

$$P_p = P_{\text{под}} \cdot f = 3175539 \cdot 1,4 = 4445755 \text{ Н,}$$

где f – коэффициент запаса прочности.

Напряжение при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_p}{F} = \frac{P_p}{\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}} \quad (1),$$

где F – площадь поперечного сечения трубы.

$$\sigma_{\text{сж}} = 0,94 \cdot \sigma_B,$$

где $0,94$ – это значение коэффициента понижения прочности при сжатии;

σ_B – временное сопротивление на сжатие материала трубы, для углепластика:

$$\sigma_B = 1200 \text{ МПа,}$$

тогда $\sigma_{\text{сж}} = 0,94 \cdot \sigma_B = 0,94 \cdot 1200 = 1128 \text{ МПа.}$

Из уравнения (1) находим наружный диаметр трубы D :

$$D = \sqrt{\frac{P_p + \sigma_p \frac{\pi}{4} d^2}{\sigma_p \frac{\pi}{4}}} = \sqrt{\frac{4445755 + 1200 \cdot 0,785 \cdot 0,05^2}{1200 \cdot 0,785}} = 0,068 \text{ м.}$$

Проводим проверку подкоса на устойчивость при сжатии:

Определяется критическое напряжение сжатия:

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E i^2}{l_i^2},$$

где E – модуль упругости I рода при сжатии, МПа;

i – радиус инерции сечения, мм;

l_i – длина подкоса, мм.

$$i = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,068 = 0,017 \text{ м,}$$

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E i^2}{l_i^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,017^2}{0,4^2} = 3561 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 1500 \text{ МПа} < \sigma_{\text{кр}} = 3561 \text{ МПа} \text{ – углепластик;}$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 1500 \text{ МПа} < \sigma_{\text{кр}} = 2189 \text{ МПа} \text{ – сталь.}$$

С экономической точки зрения, композитные материалы изготавливать выгоднее. Так, например, сравнительно низкими удельными затратами энергии на производство конструкционных материалов и изделий из них у эпоксидного углепластика в пересчете на 1 кг готового изделия энергия расходуется 72,7 кВт·ч. На изделия из стали требуется 220,4 кВт·ч, что в три раза выше, чем на углепластик [8].

Так же одним из преимуществ углепластиков является стабильность размеров деталей при изменении температуры. Так коэффициент линейного термического расширения у стали равен $15,0 \times 10^{-6}$, $1/^\circ\text{C}$, в то время как у углепластиков этот показатель не превышает $6,5 \times 10^{-6}$, $1/^\circ\text{C}$ [8].

Выводы. Были проведены расчеты подкоса шасси самолета, выполненного из композитного материала - углепластика и проведена сравнительная характеристика критических напряжений со сталью марки 30ХГСН2А. В ходе расчетов было установлено, что углепластик проявил критическое напряжение вдвое выше, чем сталь. Кроме того, необходимо отметить, что композитные материалы легче сталей, а изделия из них более экономичны. Также углепластики превосходят высокопрочную сталь по показателям удельной прочности, жесткости и прочности при растяжении.

Список использованных источников

1. Snorri Gudmundsson. General Aviation Aircraft Design, 2014, P. 1034.
2. Kharmanda G., System reliability-based design optimization using optimum safety factor with application to multi failure fatigue analysis /G. Kharmanda, I. Antypas // В сборнике: Состояние и

перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 10-й Международной юбилейной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2017". 2017. С. 177-179.

3. Антибас И.Р. Параметрическая оптимизация конструкции / И.Р. Антибас, Т.П. Савостина // В сборнике: Инновации в машиностроении сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Под редакцией А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. 2018. С. 268-271.

4. Антибас И.Р. Изготовление теплоизоляционного материала и изучение его теплофизических и механических свойств/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко// В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 10-й Международной юбилейной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2017". 2017. С. 182-183.

5. Антибас И.Р. Моделирование, изучение и изготовление стойки культиватора из композитных материалов/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко// Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. № 3. С. 366-378.

6. Антибас И.Р. Особенности использования параметризации при проектировании/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина // В сборнике: Инновации в машиностроении Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. 2019. С. 732-736.

7. Характеристика стали 30ХГСН2А. URL: <https://www.zavodsz.ru/files/gost/30hgsn2a.pdf> (дата обращения: 17.01.2020).

8. Молчанов, Б. М., Гудимов, М.М. Свойства углепластиков и области их применения // Авиационная промышленность. №3-4, 1997.

9. Антибас И.Р. Влияние содержания древесного дисперсного наполнителя на долговечность композиционных материалов/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко// Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 1 (88). С. 67-74.

10. Антибас И.Р. Сравнение амортизирующих свойств гофрированной картонной упаковки разной структуры при действии вертикальной нагрузки/ И.Р. Антибас, А.Г. С.А. Партко// В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2015". 2015. С. 232-235.

11. Антибас И.Р. Исследование процесса разрушения слоистого композитного материала/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко// В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 10-й Международной юбилейной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2017". 2017. С. 179-181.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.