УДК 621.791.725

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Малаева П.В. – студент,
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,
Россия, г. Казань

Современная авиация развивается из года в год, и поэтому в производство внедряются инновации в различных областях производства, что помогает улучшить качество обслуживания, прочностные качества самолетов, а главное, повысить производительность. Снижение расхода топлива также существенно влияет на модернизацию различных воздушных судов.

В настоящее время существует множество различных способов снижения расхода топлива, но не все из них применимы в авиации.

Для начала давайте рассмотрим, от каких факторов зависит расход топлива. Существует два вида расхода топлива, которые зависят от крейсерского режима полета: часовой и километровый.

Часовой расход, который измеряется в л/ч:

$$C_h = \frac{C_p \cdot P_n}{\gamma} \quad (1)$$

где C_p – удельный расход топлива ТРД,

P_n – потребная тяга,

γ – удельный вес топлива.

Теперь рассмотрим от чего зависит километровый расход топлива, который измеряется в л/км:

$$C_k = C_p \cdot \frac{P_n}{\vartheta} \quad (2)$$

где C_p – удельный расход топлива ТРД,

P_n – потребная тяга,

$\vartheta -$ скорость самолета.

В этих двух формулах присутствуют одинаковые характеристики: удельный расход топлива ТРД C_p и потребная тяга самолета P_n.

Теперь разберемся от чего зависят эти характеристики.

Потребная тяга самолета P_n – это тяга, необходимая для выполнения режима горизонтального полета (уравновешивания силы лобового сопротивления). Формула потребной тяги выглядит так:

$$P_n = \frac{G}{K} \quad (3)$$

где G – вес самолета, Н

К – аэродинамическое качество

Из формулы делаем вывод, что на потребную тягу влияют такие характеристики, как вес самолета и его аэродинамическое качество [1].

Экономическая эффективность двигателя летательного аппарата оценивается через удельный расход топлива C_p. Этот интегральный параметр демонстрирует, насколько рационально используется горючее: он отображает взаимосвязь между часовым расходом топлива и развиваемой тягой, характеризуя прямые эксплуатационные затраты на преодоление сопротивления воздуха.

Из выше указанных формул можно сделать вывод, что количество расхода топлива зависит от массы самолета и от скорости самолета, но ключевой фактор – это снижение массы самолета.

Уменьшить вес воздушного судна проблематично, поскольку это уменьшение может повлечь за собой ряд проблем, связанных с прочностью в полете, при посадке и взлете, особенно агрегат испытывает наибольшие нагрузки при взлете и посадке.

Существует несколько способов снизить расход топлива – во-первых, использование композитных материалов, а во-вторых, внедрение лазерной сварки в производство самолетов. Внедрение лазерной сварки не только поможет снизить расход топлива, но и самое главное – сократит время на создание агрегатов и снизит вес.

На сегодняшний день огромное количество деталей самолета крепится между собой благодаря методу клепания. Это самый надежный и проверенный способ соединения деталей самолета с момента зарождения авиации. Но так как заклепки тоже имеют некую массу, то за счет них тоже увеличивается масса машины, так как отверстия под заклепки не компенсируют массу самих заклепок, так как часть металла, срезанная с детали под отверстие намного меньше по массе. Поэтому лазерная сварка оптимальный вариант для уменьшения массы агрегата [2-5].

Что из себя представляет лазерная сварка? В основе лазерной сварки лежит принцип сплавления кромок материалов в зоне их контакта. Для этого используется высокоэнергетический лазерный луч, который точечно нагревает заготовки до температуры плавления, формируя прочное соединение (Рис. 1). Изделия, подлежащие сварке, плотно соединяют друг с другом по линии будущего сварного шва. Сфокусированный лазерный луч нагревает и расплавляет кромки изделий, в результате чего расплавленный материал заполняет зону соединения, проникая во все микронеровности материалов. Лазерный луч и, соответственно, зона расплава перемещаются вдоль линии соединения, создавая прочный, плотный, узкий и глубокий сварной шов. Глубину проплавления материалов можно регулировать от поверхностной до сквозной. А для того, чтобы не происходило окисление металлов, применяют при этом процессе газовую защитную среду, которая, может быть, из таких газов, как аргон, гелий, азот или из смесей других газов [4].

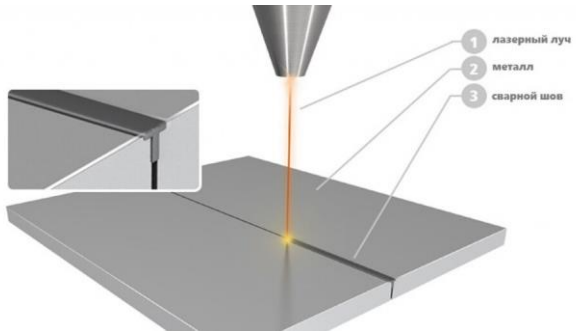

Рисунок 1 – Принцип действия лазерной сварки

Первое серийное применение данной технологии было реализовано компанией Airbus при производстве нижних панелей фюзеляжа самолета А318. Высокая эффективность решения подтвердилась его успешной интеграцией в изготовление других моделей компании в течение последующего года.

На нашем отечественном среднемагистральном пассажирском самолете Ту-214 это соединение металлов еще не применяется, так как швы не удовлетворяют условиям прочности.

Масса пустого самолета Ту-214 составляет 59000 килограмм. Если внедрить лазерную сварку в производство этого типа техники, хотя бы, как и в Airbus A318, в нижнюю панель фюзеляжа, то эта масса могла бы стать меньше.

Как производят сварку на самолетах Airbus A318? Как показали исследования [4], оптимальный результат при производстве сварных панелей фюзеляжа достигается при использовании лазерной сварки и сварки трением с перемешиванием. Низкое тепловложение данных методов предотвращает возникновение значительных остаточных напряжений и деформаций. На иллюстрации (Рис. 2) представлены результаты работ компании Alcoa, посвященных изготовлению панелей из сплава 2099 с применением указанных технологий.

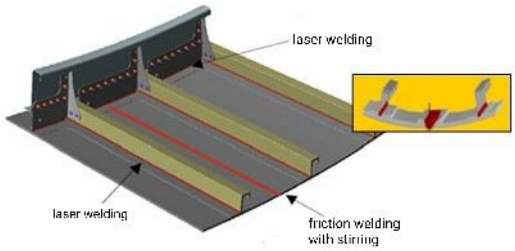

Рисунок 2 - Вариант изготовления сварной панели фюзеляжа

Ключевым достижением испытаний панелей стало кардинальное снижение массы и одновременное повышение несущей способности благодаря внедрению прогрессивной концепции сварных конструкций [5]. Производственный комплекс, оснащенный парой CO_2-лазеров, обеспечивает обработку панелей габаритами до 11×2,5 м при глубине зоны обработки до 1 м (рис. 5). Примечательно, что область применения лазерной сварки в текущей конфигурации ограничена элементами нижней части фюзеляжа. Как демонстрируют

исследования EADS, интеграция сварных соединений в боковые и верхние панели, а также в хвостовое оперение и крылья не обеспечивает требуемых параметров прочности на растяжение и сдвиг, что создает потенциальные риски для эксплуатационной надежности воздушного судна.

Международный опыт свидетельствует, что сварка обшивочно-стрингерных модулей предъявляет исключительно высокие требования к рабочему пространству и прецизионности позиционирования – стандартные роботизированные системы средней размерности не соответствуют этим критериям. Технические спецификации и архитектура лазерно-сварочного комплекса требуют адаптации под конкретные типы соединяемых элементов. Оптимальным решением для производства панелей признана двухлучевая лазерная система с 10-осевой системой позиционирования, интегрированная с промышленным компьютером, обеспечивающим коррекцию отклонений в реальном времени. Ключевые преимущества двухлучевой технологии – сокращение временного цикла и существенное подавление деформационных процессов.

Внедрение сварных соединений в нижние секции обшивки позволяет перераспределить нагрузочные напряжения, снижая нагрузку на верхние панели на 20% при одновременном повышении эффективности нижних секций на 15%. Дополнительным преимуществом становится использование монолитных листовых элементов, что значительно усиливает коррозионную стойкость и сопротивляемость образованию трещин.

Соединение элементов фюзеляжа с применением инновационных сварочных методик обеспечивает 10-процентный выигрыш в весовой эффективности благодаря устранению нахлесточных соединений и заклепочных креплений. В этой связи разработка усовершенствованных технологий лазерной и сварки трением с перемешиванием для алюминий-литиевого сплава В-1469 приобретает первостепенную значимость для авиастроительной отрасли.

Список литературы:

1. Белкин В.А. К проблеме повышения топливной эффективности гражданских самолетов // журнал «Научный вестник МГТУ ГА», 2015. С. 121-126.

2. Самолет едет, двигатели стоят [Электронный ресурс] // URL: http://aviaglobus.ru/2013/01/05/5144 (дата обращения: 18.11.2025)

3. Игнатов А.Г. Лазерная сварка стали и сплавов: состояние и перспективы // Сварка в России 2019: современное состояние и перспективы: сборник тезисов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Б.Е. Патона, Томск, 3-7 сентября 2019 года. Томск: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2019. С. 133-135.

4. Лукин В.И. Сварка трением с перемешиванием полуфабрикатов высокопрочного алюминий-литиевого сплава В-1469/ Лукин В.И., Кулик В.И., Бецофен С.Я., Лукина Е.А., Шаров А.В., Пантелеев М.Д., Саморуков М.Л. // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2017. №12 (60). С. 2.

5. Каблов Е.Н. Алюминий-литиевые сплавы нового поколения и слоистые алюмостеклопластики на их основе/ Каблов Е.Н., Антипов В.В., Клочкова Ю.Ю. // Журнал: Цветные металлы. 2016. №8 (884). С. 86-91.