

УДК 621.9

Аддитивно-субтрактивные технологии изготовления протяженных малоустойчивых тонкостенных деталей летательных аппаратов из алюминиевых сплавов

Янбаев Руслан Мискадесович

rmyanbaev@kai.ru

SPIN-код: 6348-7447

Шестакова Екатерина Александровна^(*)

eashestakova@kai.ru

SPIN-код: 3129-0770

КНИТУ–КАИ, Казань, Республика Татарстан, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследований формирования неразъемных соединений стрингера с обшивкой получаемых способом прямого послойного выращивания из алюминиевых сплавов с последующим фрезерованием оппозиционно расположенными концевыми фрезами стрингеров обшивки летательных аппаратов, обладающих малой устойчивостью. Выявлено влияние амплитудно-частотных характеристик при встречном и попутном фрезеровании на шероховатость обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, соединение стрингера с обшивкой, оппозиционное фрезерование, вибрации, стрингеры слабонагруженной обшивки летательных аппаратов, амплитудно-частотная характеристика колебаний, профилограф-профилометр, шероховатость, осциллограф

Введение. Обшивка летательных аппаратов традиционно образуется приклепыванием на тонкостенную листовую основу толщиной порядка 0,8 мм стрингеров из уголка. К недостаткам такой конструкции следует отнести относительно высокую трудоемкость изготовления и в ряде случаев недостаточную надежность соединения. Модернизация конструкции с помощью замены клепки лазерной сваркой из-за недостаточной отработанности метода приводит к возникновению в сварочных швах многочисленных дефектов [1, 2]. Альтернативная технология заключается в выращивании стрингеров с помощью 3D-принтера прямо на тонкостенную основу оболочки. При этом стоимость обшивки и ее трудоемкость снижаются, и происходит существенное снижение ее веса за счет отсутствия заклепок и одной полки стрингера. Технология получения деталей аддитивным способом является перспективной и ресурсосберегающей. Применяемая технология основана на принципе послойного наплавления сплавов [3, 4].

Требуемая толщина стрингера должна составлять порядка 1,5 мм. Авторами способа выращивания удается вырастить стрингеры толщиной 4,0–4,5 мм, но в будущем возможно выращивание стрингеров нужной толщины. Однако полученные образцы обладают погрешностями формы: волнистостью, неплоскостностью, высокой шероховатостью поверхности и наличием дефектов структуры: пор, трещин и др. [5–7]. Поэтому после выращивания стрингера необходимо получить нужную толщину и избавиться от отмечен-

ных выше недостатков. Решается эта задача механической обработкой фрезами. Однако при этом возникает ряд проблем: пластическая деформация (отжим стенок) и вибрации из-за нежесткости конструкции.

Методы и материалы, результаты. Важнейшей характеристикой полученной выращиванием с последующим фрезерованием обшивки является прочность и структура полученного соединения. Исследовалась зона срачивания стрингера с обшивкой. С этой целью были изготовлены шлифы на макро- и микроструктурный анализ и изготовлены образцы для испытаний предела прочности и относительного удлинения. Испытания проводились на универсальной испытательной машине серии 6800. Шлифы исследовались на микроскопе Tixomet с 500 кратным увеличением [5–7]. Анализ показал, что соединение получается без трещин, но с пористостью, как концентрированной, так и распределенной. Вид пористости определяется режимом выращивания и продолжительности выдержки. Микроструктурный анализ показал здоровую однородную структуру полученного соединения без трещин. По результатам испытаний на разрыв полученных соединений выявлена прочность до 87 % от прочности основного металла [7–9].

В данной работе использован метод оппозитной двухсторонней одновременной обработки двумя фрезами одного диаметра на одинаковых режимах резания [6]. Для этого требуется станок с ЧПУ и специальное приспособление. Обработка проводилась концевыми и дисковыми фрезами. Обработка производилась по четырем схемам: двухстороннего и одностороннего встречного и попутного фрезерования. Для измерения шероховатости применялся портативный профилограф — профилометр W20 (Hommel Etamic), а амплитудно-частотные характеристики посредством пьезоэлектрического датчика на осциллограф Textronix TDS2022B [7, 8]. Замерялась и сравнивалась с односторонней обработкой шероховатость обработанной поверхности. Шероховатость обработанной поверхности при двухсторонней обработке оказалась в 3–4 раза ниже, чем при односторонней обработке и достигала Ra 0,63. Шероховатость также зависит от частоты вращения [7, 8].

Заключение. Технология 3D-выращивания стрингеров напрямую из алюминиевых сплавов на поверхности обшивки летательных аппаратов позволила изготовить фрагмент слабонагруженной обшивки малой жесткости. Фрагмент слабонагруженной обшивки выращен с припусками на механическую обработку. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что из-за малой жесткости обшивки обработка стенок стрингеров возможна только парными дисковыми или концевыми фрезами. Экспериментально подтверждена зависимость значений амплитудно-частотных колебаний в системе СПИД на шероховатость обработанной поверхности стрингера. Доказано преимущество фрезерования оппозитно расположенными фрезами по сравнению с односторонним фрезерованием [6–9].

Список источников

- [1] Бренер Б., Дитрих Д., Штандфус Е., Виндерлих Б., Либшер Е. Применение технологий лазерной сварки при изготовлении интегральных конструкций обшивки фюзеляжа гражданских крупногабаритных самолетов. *Авиационная промышленность*, 2011, № 2, с. 6. EDN: RCJTGB
- [2] Шестакова Е.А. Повышение качества авиационных деталей, получаемых методом послойного формирования из алюминиевых сплавов *Вестник КНИТУ-КАИ*, 2020, № 2, с. 87–91.
- [3] Шестакова Е.А. *Высокопроизводительный способ изготовления фасонных деталей типа тел вращения из алюминиевых сплавов*. Патент № 2707371 РФ, 2019, бюл. № 33.
- [4] Шестакова Е.А., Иевлев В.О., Янбаев Р.М., Курылев Д.В. Синтез слабонагруженной обшивки летательных аппаратов. *Вестник КНИТУ-КАИ*, 2020, № 4, с. 63–66.
- [5] Абдуллин А.И., Шестакова Е.А. Критерии применимости комбинированных аддитивно-субтрактивных технологий производства деталей самолетов гражданской авиации. *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024). IX Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 2024, с. 402–403.
- [6] Шестакова Е.А., Янбаев Р.М., Иевлев В.О. Формирование неразъемного соединения стрингеров и слабонагруженной обшивки летательных аппаратов выращиванием напрямую из алюминиевых сплавов. *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024). IX Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 2024, с. 429–430.
- [7] Шестакова Е.А., Янбаев Р.М., Иевлев В.О. Формообразование стрингеров слабонагруженной обшивки летательных аппаратов. *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024). IX Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 2024, с. 431–433.
- [8] Шестакова Е.А., Янбаев Р.М., Иевлев В.О. Структура и прочность неразъемного соединения стрингера с обшивкой формируемого при прямом последовательном выращивании из алюминиевого сплава. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*, 2024, № 2, с. 178–184.
- [9] Шестакова Е.А., Янбаев Р.М., Иевлев В.О. Фрезерование стрингеров слабонагруженной обшивки летательных аппаратов. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*, 2023, № 4, с. 184–188.