

ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ

Смелов В.Г.¹, Митрянин А.В.²

¹Самарский университет, г. Самара,

²АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, alexsander.mitryanin@yandex.ru

Ключевые слова: титановые сплавы, компоненты аэрокосмической техники, преимущества титана, ограничения титановых сплавов.

Широкое распространение сплавов на основе титана в аэрокосмической сфере обусловлено уникальными механическими свойствами: высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, низкий модуль упругости, электрохимическая совместимость с композитами, способность работать при высоких и криогенных температурах [1,2]. При этом существенным недостатком титановых сплавов является их высокая первоначальная стоимость и трудоемкость механической обработки [1].

Целью работы является определение основных свойств титана и его сплавов при получении изделий аэрокосмической техники, и перспектив применения новых технологий обработки титана, в том числе аддитивных технологий. Основное преимущество титана и его сплавов заключается в его легкости и высокой прочности, что и делает его ключевым материалом аэрокосмической техники. Кроме этого, при низких температурах нелегированный титан, или титановые сплавы на основе α -структур, являются высокопрочными и пластичными. С учетом последних тенденций в области космических перевозок на первое место встает вопрос о стоимости самих космических конструкций и аппаратов. Поэтому высокопрочный легкий титан приобретает большую популярность при освоении космоса.

На основе проведенного анализа предложено применить аддитивные технологии для производства титановых компонентов композитных элементов аэрокосмической техники, работающих в температурных условиях космоса. Далее будут определены механические свойства синтезируемых аддитивных материалов в условиях циклических нагрузок и космического пространства.

Из-за специальных свойств в условиях криогенных температур, а именно коэффициента теплового расширения, в два раза меньшего, чем у сплавов алюминия и примерно на 75% ниже, чем у стали, титан и его сплавы стали применяться в прецизионных размеростабильных несущих конструкциях космических аппаратов в качестве вклеенных деталей крепежа, таких как титановые бобышки, на рис. 1 [2, 3].

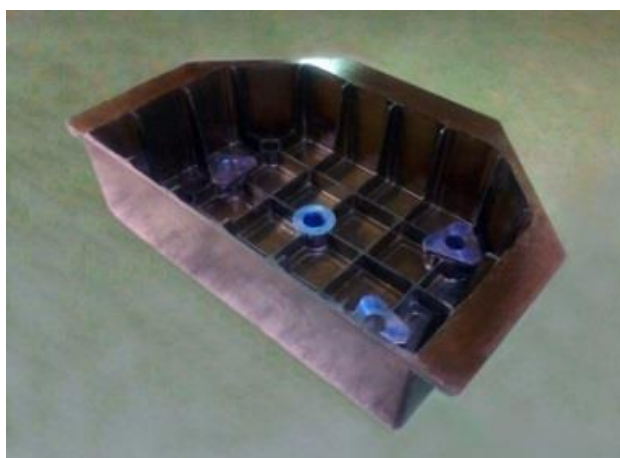


Рис.1 – Платформа крепления зеркала оптико-электронного комплекса с титановыми элементами (бобышки) [3]

Основная проблема материалов, работающих в космическом пространстве – резкий перепад температур от очень низких в условиях вакуума до очень высоких под действием солнечных лучей, а также космическая радиация.

При больших температурных диапазонах работы космической техники (от -125°C до $+125^{\circ}\text{C}$) более высокий коэффициент теплового расширения стали или алюминия будет сильно отличаться от композиционного материала и может привести к искажению или даже разрыву размеростабильных несущих конструкций космических аппаратов [2].

Сложность обработки и уникальные механические свойства титановых сплавов делают титан одним из самых перспективных материалов для аддитивных технологий (АТ) [2,4]. С использованием 3D-печати можно получить сложные геометрические формы и конструкции из титана, производить которые с использованием метода литья и механической обработкой очень трудоемко и дорого.

Общими проблемами при применении АТ являются дефекты в виде газовых пор и несплавов материала [4], а у титановых сплавов проявляется еще проблема испарения алюминия из состава сплава (из-за меньшей температуры плавления, чем у титана), который является упрочняющим, основным легирующим, элементом для титана [2,4]. Это приводит к снижению прочностных свойств, которые являются ключевыми в аэрокосмической сфере, особенно в условия экстремальных циклических перепадов температур космического пространства и циклических нагрузок. Помимо этого, на усталостные свойства титана, созданного АТ, влияют шероховатость поверхности, остаточные напряжения и загрязнение материала кислородом (снижает пластичность) [4,5,6].

В работах [5, 6] приводится описание экспериментов титановых образцов, полученных АТ, в условиях комнатной и повышенной температуры (250°C). Суть нашего исследования заключается в проведении исследований и изучении свойств титановых сплавов, синтезируемых АТ, в условиях низких температур космоса (до -125°C). В качестве аддитивной технологии применяется технология селективного лазерного сплавления в защитной среде аргона.

Методика заключается в испытании образца-свидетеля изгибающей нагрузкой с вращением. Вращение создает циклическую смену нагрузки с растягивающей на сжимающую. Величина предела усталости σ_w определяется как максимальная нагрузка, которую выдержит образец при 10^7 циклах повторений. Схема типового образца изображена на рис. 2 [5]. При этом также определяются пористость образцов, дефекты 3D-печати: трещины, несплавления; предел прочности, выносливости, длительной прочности, ползучести.

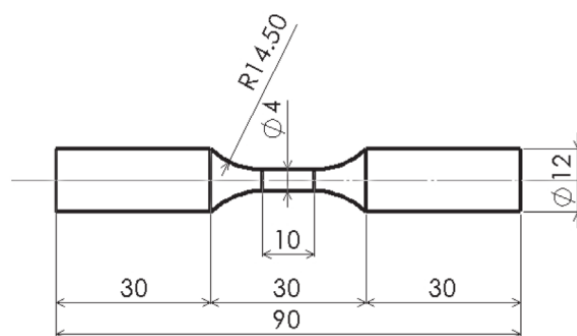


Рис. 2 – Типовой образец для испытаний на сопротивление усталости [5]

Таким образом, актуальность и практическая ценность результатов исследования заключается в определении зависимости между механическими свойствами (сопротивление усталости, предел прочности, пластичность) титана, синтезированного АТ, от параметров и стратегии 3D-печати и постобработки в условиях низких и криогенных температур.

Список литературы

1. Хорев А.И. Теоретические и практические основы создания современных конструкционных титановых сплавов и технологий для авиакосмической и ракетной техники //Авиационные материалы и технологии. 2007. №1.
2. Williams J.C., Boyer R.R. Opportunities and issues in the application of titanium alloys for aerospace components //Metals. 2020. Т. 10. №6. С. 705.
3. Прецизионные размеростабильные конструкции для космических аппаратов / Сайт ООО «Специальное Конструкторско-технологическое Бюро «Пластик», Сызрань. 2021. URL: <http://www.sktb-plastik.ru/128/> (Дата обращения: 10.04.2021).
4. Gupta A., Bennett C.J., Sun W. The role of defects and characterisation of tensile behaviour of EBM Additive manufactured Ti-6Al-4V: An experimental study at elevated temperature //Engineering Failure Analysis. 2021. Т. 120. С. 105115.
5. Kakiuchi T. et al. Prediction of fatigue limit in additively manufactured Ti-6Al-4V alloy at elevated temperature // International Journal of Fatigue. 2019. Т. 126. С. 55-61.
6. Masuo H. et al. Influence of defects, surface roughness and HIP on the fatigue strength of Ti-6Al-4V manufactured by additive manufacturing //International Journal of Fatigue. 2018. Т. 117. С. 163–179.

Сведения об авторах

Смелов Виталий Геннадиевич, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: технологии производства ГТД, аддитивные технологии.

Митрянин Александр Валерьевич, аспирант. Область научных интересов: аддитивные технологии.

TITANIUM ALLOYS IN AEROSPACE ENGINEERING: ADVANTAGES AND LIMITATIONS

Smelov V.G.¹, Mitryanin A.V.²

¹Samara National Research University, Samara, Russia,

²JSC Space-rocket Center Progress, Samara, Russia, aleksander.mitryanin@yandex.ru

Keywords: titanium alloys, aerospace components, advantages of titanium.

The purpose of the material is to highlight the main areas of application of titanium, to review the practical properties and spheres of use of various groups of alloys.