

А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

Под общей редакцией **А. Л. Галиновского**

2-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2023

УДК 62(075.8)

ББК 30я73

A28

Авторы:

Галиновский Андрей Леонидович — профессор, доктор технических наук, доктор педагогических наук, заведующий кафедрой технологии ракетно-космического машиностроения факультета специального машиностроения Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана;

Голубев Евгений Сергеевич — ведущий инженер Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук (г. Москва);

Коберник Николай Владимирович — доктор технических наук, доцент кафедры технологии сварки и диагностики факультета машиностроительных технологий Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана;

Филимонов Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии ракетно-космического машиностроения факультета специального машиностроения Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана.

Рецензент:

Астапов В. Ю. — кандидат технических наук, профессор кафедры технологии производства летательных аппаратов Московского авиационного института.

A28

Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники : учебное пособие для вузов / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов ; под общей редакцией А. Л. Галиновского. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 145 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-16005-5

В курсе рассмотрена классификация аддитивных технологий по стандартам ASTM. Описаны характерные особенности технологии селективного лазерного сплавления (СЛС) полимерных порошков. Рассмотрены перспективы развития аддитивных технологий в производстве изделий ракетно-космической техники, а также новые методы оценки анизотропии свойств материалов, полученных методом селективного лазерного плавления.

Самостоятельная работа студентов позволит сформировать у них навыки и умения творчески использовать в практической деятельности новейшие достижения в области технологий ракетно-космического машиностроения и научно-технического прогресса в целом.

Курс подготовлен в рамках работ, выполняемых по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-3778.2018.8) и гранта РФФИ 18-29-18081.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов и аспирантов технических специальностей.

УДК 62(075.8)

ББК 30я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© Коллектив авторов, 2020

© Коллектив авторов, 2023,
с изменениями

ISBN 978-5-534-16005-5

© ООО «Издательство Юрайт», 2023

Оглавление

Обозначения и сокращения	5
Предисловие	6
Введение.....	9
Тема 1. Перспективы и особенности методов аддитивного производства	12
Тема 2. Классификация технологий послойного выращивания деталей	18
Тема 3. Особенности технологии селективного лазерного плавления.....	30
Тема 4. Оборудование, используемое для реализации аддитивных технологий.....	35
4.1. Промышленное оборудование для селективного лазерного плавления	36
4.2. Технология и оборудование для напыления наносодержащих суспензий	41
4.3. Технология 3D-печати металлическими расплавами	44
4.4. Технология 3D-печати методом электронно-лучевой плавки	47
Тема 5. Применение аддитивных технологий в производстве изделий ракетно-космической техники... 	53
Тема 6. Формирование структуры материала при селективном лазерном плавлении.....	60
Тема 7. Анизотропия и структурная неоднородность физико-механических свойств материалов, полученных методом синтеза на подложке	73
Тема 8. Материалы, применяемые в аддитивных технологиях	87
Тема 9. Контроль параметров качества деталей, полученных методом селективного лазерного плавления... 	96

Предисловие

Курс предназначен для самостоятельной проработки студентами дисциплин «Научно-исследовательская работа студентов» (специалитет, магистратура), «Обработка и диагностика материалов ракетно-космической техники», «Технологии ракетно-космической техники» по направлениям «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» и «Ракетные комплексы и космонавтика».

Целью курса является освоение новейших достижений в области технологий ракетно-космического машиностроения и научно-технического прогресса в целом, связанных с 3D-моделированием.

Задачи пособия:

— знакомство с понятиями, особенностями и современными подходами в решении технологических задач изготовления изделия по данным CAD-модели (модели автоматизированного проектирования) методом послойного наращивания, или аддитивными технологиями;

— анализ и перспективы применения аддитивных технологий на предприятиях аэрокосмической отрасли;

— знакомство с оборудованием, материалами, применяемыми при изготовлении деталей ракетно-космической техники с помощью аддитивных технологий, процедурами оценки качества такого изделия и выбором соответствующего метода контроля, диагностики.

При самостоятельной работе с курсом студент вовлекается в процесс научного творчества, работает с научной литературой, приобретает навыки, умения совершенствовать технологический процесс путем внедрения новых достижений научной и технической мысли, что позволяет сформировать совокупность компетенций, востребованных рынком труда, прежде всего научно-творческих и исследовательских.

В результате изучения данного курса студент должен:

знать

— параметры качества технологических процессов производства изделий аэрокосмической техники, полученных методом селективного лазерного плавления;

— особенности построения и организации производственного процесса методами аддитивного производства;

— принципы работы технологического оборудования, применяемого в аддитивных технологиях;

— подходы, реализуемые для автоматизации аддитивного производства;

— достоинства и недостатки существующих методов получения деталей в сравнении с возможностями метода селективного лазерного плавления;

— методы получения деталей аэрокосмической техники, изготавливаемых с помощью аддитивных технологий;

уметь

— разрабатывать планы экспериментальной оценки выходных параметров технологических процессов производства деталей аэрокосмической техники методом селективного лазерного плавления;

— выбирать рациональный маршрут проведения экспериментальных исследований по изучению влияния технологических параметров на качество и эксплуатационные характеристики деталей РКТ, полученных методом селективного лазерного плавления;

— экспериментально определять и оценивать параметры и характеристики процессов аддитивного производства;

— предлагать и обосновывать технологический маршрут, виды применяемого оборудования и требуемые материалы для заданных условий реализации технологического процесса производства изделий аэрокосмической техники методом селективного лазерного плавления;

— представлять основные этапы жизненного цикла изделий, получаемых методом селективного лазерного плавления;

— на основе анализа технических характеристик оборудования и приборов, экспериментальных данных и результатов расчетов оценивать выходные показатели качества процесса производства, выявлять лимитирующие факторы для технологического процесса изготовления деталей аэрокосмической техники методом селективного лазерного плавления;