

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор  
УО «ГГТУ им. П.О. Сухого»  
\_\_\_\_\_ О.Д. Асенчик

(подпись)

\_\_\_\_\_ 05.12. 2019

(дата утверждения)

Регистрационный № УД - 31-29 /уч

## **МАТЕРИАЛЫ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности

1 - 36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Учебная программа составлена на основе:

образовательного стандарта ОСВО 1 - 36 07 02 -2019 специальности «Производство изделий на основе трехмерных технологий» и учебного плана учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»

I 36-1-04/уч. 06.02.2019г, I 36-1-15/уч. 06.02.2019г.

#### СОСТАВИТЕЛЬ:

Е.П. Поздняков, старший преподаватель кафедры «Материаловедение в машиностроении» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Ю.Л. Бобарикин, заведующий кафедрой «Металлургия и технология обработки материалов» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент.

С.П. Гулевич, и.о. главного технолога открытого акционерного общества «СтанкоГомель».

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Материаловедение в машиностроении» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 9 от 22.10.2019 г.);

Научно-методическим советом механико-технологического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол № 11 от 12.11.2019 г.); УД 053 – 4/уч.

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол № 2 от 03.12.2019 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Материалы аддитивного синтеза является базой для изучения такой дисциплины специальности, как «Основы материаловедения и структурообразования». Изучение материалов аддитивного синтеза способствует формированию у студентов научного мировоззрения, играет важную роль в развитии образного мышления, в творческом росте будущих специалистов.

### *Цель дисциплины:*

- сформировать естественнонаучное мировоззрение и развить материаловедческое мышление будущих специалистов;
- дать будущим инженерам базовые научно-теоретические знания, являющиеся основой для понимания и усвоения общеобразовательных, общетехнических и специальных дисциплин, и позволяющие владеть междисциплинарным подходом при решении теоретических и практических задач в своей деятельности.

### *Задачи дисциплины:*

- научить основам современного материаловедческого знания;
- дать основные понятия, теории, законы;
- дать студентам систематические сведения о группах материалов (металлических сплавах, полимерах, пластмассах, композиционных материалах, керамике)
- дать студентам сведения о механических, технологических и эксплуатационных свойствах материалов в изделии, полученном по аддитивным технологиям.

В результате изучения дисциплины «Материалы аддитивного синтеза» студент должен:

### *знать:*

- виды исходных материалов для аддитивных технологий;
- особенности механических и технологических свойств термопластичных и термоактивных полимеров, металлов, стекла, керамики и вяжущих как основы материалов для аддитивного синтеза;
- основные методы изучения механических и технологических свойств материалов в готовых изделиях;
- особенности поведения материалов, обусловленные неоднородностью и анизотропией свойств;
- области эффективного применения материалов различного типа;

### *уметь:*

- определять свойства материалов аддитивного синтеза;
- прогнозировать показатели упругих, прочностных и теплофизических свойств материалов в конечных изделиях по заданным исходным свойствам, параметрам структуры материала, режимов производства;
- оценивать влияние исходных свойств материалов и конечной структуры в изделии на процесс формообразования изделий и поведение изделий в различных условиях эксплуатации;

### *владеть:*

- методами прогнозирования свойств материалов в конечных изделиях;
- способами управления эксплуатационными свойствами материалов в изделиях;
- методами экспериментального определения свойств материалов и их анализа.

Изучение дисциплины должно обеспечить у студента формирование следующих компетенций:

*базовых профессиональных:*

– БПК-11. Иметь систематические знания о материалах, применяемых в аддитивных технологиях, их компонентах, технологии получения, структуре и свойствах.

*А также развить и укрепить профессиональные компетенции:*

– ПК-1. Проводить научные исследования и разработки с использованием современных информационных технологий.

– ПК-2. Анализировать и объективно оценивать достижения науки в области современных материалов, разработки, производства и применения (эксплуатации) изделий, перспективы и направления развития.

– ПК-6. Организовывать и проводить экспериментальные исследования материалов, изделий, технологических процессов и элементов технологического оборудования по профилю специальности, анализировать и обрабатывать результаты исследований.

Общее количество часов и распределение аудиторного времени по видам занятий:

Форма получения высшего образования: дневная.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины «Материалы аддитивного синтеза», в соответствии с учебными планами по специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» составляет– 300.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 7 зачетных единиц.

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам:

	Дневная форма
Курс	2/3
Семестр	4/5
Лекции (час)	85
Практические (семинарские) (час)	-
Лабораторные занятия (час)	68
Всего аудиторных (час)	153

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине

	Дневная форма
Экзамен, семестр	4, 5
Зачет, семестр	-
Тестирование, сем.	-

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ***Раздел 1. Технологии получения порошков для аддитивных технологий.***

*Тема 1.1. Технология и оборудование для получения порошковых металлических сплавов методами атомизации.*

Введение. Роль материалов в техническом прогрессе человечества. Основные этапы развития материаловедения и роль русских ученых. Основные направления в развитии материалов для аддитивного производства изделий. Общие положения. Особенности металлических порошковых материалов. Основные виды порошковых металлических материалов. Химический состав исходных материалов. Особенности печати порошками. Физико-химические и механические способы получения металлических порошков. Газовая атомизация. Технология VIGA, EIGA, Plasma Atomization. Вакуумная атомизация. Центробежная Атомизация. Схема процессов плазменной обработки порошка, процесса Soluble gas atomization, процесса REP. Устройство атомайзеров. Особенности морфологии и дисперсности получаемых порошков.

*Тема 1.2. Технология и оборудование для изготовления изделий из металлических порошков по технологии Spray forming.*

Схема технологии Spray forming. Особенности структурообразования и распределения химического состава по сравнению с традиционными способами изготовления изделий. Установка горячего изостатического прессования AVURE. Процесс получения изделий напылением металла на керамическую модель. Устройство и принципиальная схема RSP-машины. Получение биметаллических композиций. Схема процесса РКУП.

***Раздел 2. Дисперсно-упрочненные, слоистые и волокнистые композиционные материалы.***

*Тема 2.1. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.*

Технологии изготовления дисперсно-упрочненных композитов. Химический состав исходных компонентов. Обозначение и области применения композиционных материалов. Физико-химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства дисперсно-упрочненных материалов. Адгезионная прочность структурных компонентов.

*Тема 2.2. Слоистые и волокнистые композиционные материалы.*

Обозначение и области применения волокнистых и слоистых композитов. Технологии изготовления волокнистых и слоистых композиционных материалов. Химический состав исходных компонентов. Физико-химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства. Металлические волокна на основе бериллия, вольфрама, молибдена и углеродистого легированного сплава. Волокна и нитевидные металлические кристаллы с присадками углерода, бора, оксида алюминия. Нитевидные кристаллы из карбида кремния и сапфира. Технологии изготовления изделий из волокнистых и слоистых композиционных материалов.

***Раздел 3. Металлические материалы для формирования изделий с помощью аддитивных технологий.***

*Тема 3.1. Титан и титановые сплавы.*

Химический состав титановых сплавов. Биосовместимость титана и сплавов на его основе. Общая характеристика и классификация титановых сплавов.

Особенности структуры и свойств. Обозначение, области применения титановых сплавов. Технологии придания окончательных механических и эксплуатационных свойств в готовом изделии из титановых порошковых материалов.

*Тема 3.2. Алюминий и алюминиевые сплавы.*

Общая характеристика и классификация алюминиевых порошковых сплавов. Обозначение и области применения. Химический состав алюминиевых сплавов. Физические, механические и технологические свойства. Особенности структурообразования и придания окончательных свойств в готовых изделиях.

*Тема 3.3. Коррозионностойкие, теплостойкие, жаропрочные и инструментальные специальные сплавы.*

Классификация и общая характеристика коррозионностойких, теплостойких, жаропрочных и инструментальных порошковых материалов. Влияние составляющих компонентов на механические, технологические и эксплуатационные свойства стали. Области применения. Способы окончательного структурообразования и формирования свойств детали.

*Тема 3.4. Кобальт-хромовые порошковые сплавы.*

Химический состав кобальт-хромовых материалов. Общая характеристика и классификация кобальт-хромовых материалов. Применение в медицине и стоматологии. Особенности структуры и свойств. Технологии формирования окончательных механических и эксплуатационных свойств в готовом изделии из кобальт-хромовых порошковых материалов.

*Тема 3.5. Никелевые порошковые сплавы.*

Химический состав никелевых порошков. Общая характеристика и классификация никелевых порошковых материалов. Применение в авиации, космонавтике, теплотехнике и инструментальном производстве. Особенности структуры и свойств. Технологии формирования окончательных механических и эксплуатационных свойств в готовом изделии из никелевых порошков.

*Тема 3.6. Сплавы на основе вольфрама, железа, меди и никель-кадмиевые порошки.*

Общая характеристика и классификация вольфрамовых, медных, железных и никель-кадмиевых порошковых сплавов. Обозначение и области применения. Химический состав сплавов. Физические, механические и технологические свойства. Морфологические особенности порошков. Окончательное структурообразование и свойства в готовых изделиях.

**Раздел 4. Полимерные и композиционные материалы для аддитивных технологий.**

Исторические предпосылки появления аддитивных технологий. Преимущества, перспективы и проблемы. Характеристика рынка, целевые задачи, отрасли использования, критерии выбора аддитивных технологий. Аддитивные технологии в Беларуси. Терминология и классификация аддитивных технологий по формированию слоя, подводу энергии, используемому материалу.

Классификация по стандарту ASTM. Краткая характеристика процессов. Классификация применяемых материалов: жидкие фотополимеры, сыпучие (полимеры, металлы, пески), прутковые (полимеры, металлы, армированные и наполненные полимеры); листовые (полимеры, металлы).

#### *Тема 4.1. Полимерные материалы для аддитивных технологий.*

Классификация полимерных материалов: термопласты, реактопласты. Механические, теплофизические и диэлектрические свойства. Влияние молекулярной структуры, условий получения и внешней среды. Области применения. Вязкие свойства полимерных материалов. Законы течения. Влияние параметров на показатели вязкости. Методы определения показателей вязких свойств полимерных и олигомерных материалов.

#### *Тема 4.2. Кинетика отверждения терморезактивных материалов.*

Воздействие тепла, УФ излучения, лазера. Методы описания и определения параметров. Тепловые эффекты при отверждении. Примеры фотополимеров: акриловые, эпоксидные и др. Особенности прохождения реакций, физико-механические и технологические свойства, структура, получение, использование.

#### *Тема 4.3. Дисперсные (порошкообразные) полимерные материалы.*

Методы получения порошков и контроля параметров. Основные технологические свойства порошков. Примеры порошкообразных полимерных материалов: ПА, ПС, ПММА и др. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Прутковые (нитевидные) полимерные материалы. Получение прутков. Основные технологические свойства непрерывных полимерных материалов. Примеры прутковых полимерных материалов: ПА, АБС-подобные, ПС, ПЛА и др. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Листовые (пленочные) полимерные материалы. Получение пленок. Примеры используемых полимеров. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Полимеры со специальными свойствами. Добавки, изменяющие основные характеристики полимеров (пластификаторы, стабилизаторы, модификаторы, пигменты).

### **Раздел 5. Наполненные полимерные материалы для аддитивных технологий.**

#### *Тема 5.1. Назначение наполнителя.*

Основные требования. Классификация. Волокнистые и дисперсные наполнители, особенности структуры и свойств. Роль наполнителей в формировании свойств. Волокнистые наполнители. Стеклённые элементарные волокна. Классификация, способы получения, физико-механические свойства. Стекловолокнистые материалы (нити, ровинги). Способы получения. Особенности свойств. Области применения. Модифицирование поверхности наполнителя.

Углеродные волокна, получение, классификация, структура и физико-механические характеристики. Углеродные волокнистые материалы (нити), особенности свойств. Области применения.

Волокнистые и дисперсные наполнители растительного происхождения (древесные волокна и отходы переработки древесины; лен, льнокостра). Особенности свойств. Области применения. Дисперсные наполнители. Классификация, особенности свойств, влияние на свойства полимерных материалов. Примеры дисперсных наполнителей: мел, тальк, каолин, металлические порошки, нанотрубки и др.

#### *Тема 5.2. Технологии получения прутков.*

Параметры технологического процесса, влияющие на физико-механические и технологические свойства получаемых стренг (прутков), структура, использование. Однонаправленные материалы. Особенности метода получения стренг на основе термопластичных полимеров и непрерывных стеклянных или углеродных наполни-

телей. Параметры структуры и свойства однонаправленных материалов. Получение изделий.

Композиции дисперсных наполнителей с полимерными матричными материалами. Особенности метода получения стренг. Параметры структуры и свойства. Получение изделий.

### ***Раздел 6. Керамические материалы для аддитивных технологий.***

#### ***Тема 6.1. Классификация керамик, применяемых в аддитивных технологиях.***

Основные физико-механические и технологические свойства. Методы контроля свойств. Порошкообразные керамические материалы. Методы получения: совместное соосаждение, распыление, криогенный и др. Примеры керамических порошков для аддитивных технологий: пески кварцевые, циркониевые, глины и др.

#### ***Тема 6.2. Получение порошковых композиций***

Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Термическая постобработка. Пастообразные керамические материалы. Получение паст (коллоидных систем). Физико-механические и технологические свойства пастообразных керамических материалов, структура, использование. Термическая постобработка.

### ***Раздел 7. Вяжущие материалы для аддитивных технологий.***

#### ***Тема 7.1. Классификация вяжущих материалов***

Классификация вяжущих материалов, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Примеры вяжущих материалов: бетоны, цементы, строительные смеси, и др., в том числе наполненные.

#### ***Тема 7.2. Особенности получения вяжущих материалов***

Технологии получения, особенности свойств, применение. Методы контроля свойств.

### ***Раздел 8. Вспомогательные материалы.***

#### ***Тема 8.1. Материалы платформы.***

Устройство и назначение платформы, используемые подходы и материалы для обеспечения направленной адгезии. Материалы платформы: стекло, металлы, акрил и др.

#### ***Тема 8.2. Поддерживающие материалы.***

Назначение, основные требования к поддерживающим материалам. Примеры, использование, свойства.

### ***Раздел 9. Методы доработки материалов и изделий.***

#### ***Тема 9.1. Механическая обработка изделий полученных по аддитивным технологиям.***

Отделение от стола, удаление поддержки, сверление, фрезерование и др. Химическая обработка. Удаление поддержки, повышение качества поверхности.

#### ***Тема 9.2. Растворители для химической обработки, растворимость основного материала и материала поддержки.***

Применение методов для обработки поверхности: окунание, распыление и др. Соединение деталей. Печать изделий из нескольких материалов для термодинамически несовместимых полимеров. Разработка сборной конструкции на стадии проектирования.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МАТЕРИАЛЫ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА  
(Дневная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела,	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля зна
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 семестр								
1	Технологии получения порошков для аддитивных технологий.							Э
1.1.	Технология и оборудование для получения порошковых металлических сплавов методами атомизации	4			4			О, ЗЛР, Э
1.2	Технология и оборудование для изготовления изделий из металлических порошков по технологии Spray forming	2			2			О, ЗЛР, Э
2	Дисперсно-упрочненные, слоистые и волокнистые композиционные материалы							Э
2.1.	Дисперсно-упрочненные композиционные материалы	4			4			О, ЗЛР, Э
2.2.	Слоистые и волокнистые композиционные материалы	4			4			О, ЗЛР, Э
3	Металлические материалы для формирования изделий с помощью аддитивных технологий							Э
3.1.	Титан и его сплавы для 3D-печати	4			4			О, ЗЛР, Э
3.2.	Алюминий и его сплавы для изготовления изделий методами аддитивных технологий	4			4			О, ЗЛР, Э
3.3.	Коррозионностойкие, теплостойкие, жаропрочные и инструментальные специальные сплавы для технологий аддитивного синтеза	4			4			О, ЗЛР, Э
3.4.	Кобальт-хромовые порошковые сплавы	2			2			О, ЗЛР, Э
3.5.	Никелевые порошковые сплавы	2			2			О, ЗЛР, Э
3.6.	Сплавы на основе вольфрама, железа, меди и никель-кадмиевые порошки для 3D-печати	4			4			О, ЗЛР, Э
<b>Всего 4 сем.</b>		<b>34</b>			<b>34</b>			

## 5 семестр

4.	Полимерные и композиционные материалы для аддитивных технологий.						Э
4.1.	Полимерные материалы для аддитивных технологий.	4			4		О, ЗЛР, Э
4.2.	Кинетика отверждения терморезактивных материалов.	4			4		О, ЗЛР, Э
4.3.	Дисперсные (порошкообразные) полимерные материалы.	4			4		О, ЗЛР, Э
5.	Наполненные полимерные материалы для аддитивных технологий.						Э
5.1.	Назначение наполнителя.	4			4		О, ЗЛР, Э
5.2.	Технологии получения прутков.	4			2		О, ЗЛР, Э
6.	Керамические материалы для аддитивных технологий.						Э
6.1.	Классификация керамик, применяемых в аддитивных технологиях.	4			2		О, ЗЛР, Э
6.2.	Получение порошковых композиций	4			4		О, ЗЛР, Э
7	Вязущие материалы для аддитивных технологий.						Э
7.1.	Классификация вязущих материалов	4			2		О, ЗЛР, Э
7.2.	Особенности получения вязущих материалов	3					О, ЗЛР, Э
8	Вспомогательные материалы.						Э
8.1.	Материалы платформы.	4			2		О, ЗЛР, Э
8.2.	Поддерживающие материалы.	4			2		О, ЗЛР, Э
9.	Методы доработки материалов и изделий.						Э
9.1	Механическая обработка изделий полученных по аддитивным технологиям.	4			2		О, ЗЛР, Э
9.2	Растворители для химической обработки, растворимость основного материала и материала поддержки.	4			2		О, ЗЛР, Э
<b>Всего 5 сем.</b>		<b>51</b>			<b>34</b>		
<b>Всего за уч.год.</b>		<b>85</b>			<b>68</b>		

Принятые обозначения (форма контроля знаний): О – отчет по лабораторной работе,  
ЗЛР – защита лаборатор. работы,  
Э – экзамен

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## Основная литература

1. Бондалетова, Л.И. Полимерные композиционные материалы: Учебное пособие / Л. И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
2. Выбор и применение материалов: учебное пособие. В 5 томах / Н.А. Свидунович [и др.] : под ред. Н.А. Свидуновича. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 625 с. : ил.
3. Гаршин, А.П. Материаловедение. Техническая керамика в машиностроении: учебник для академического бакалавриата / А.П. Гаршин. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во Юрайт, 2016. – 296 с.
4. Каменев, С.В. Технологии аддитивного производства : учебное пособие / С.В. Каменев, К.С. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. - 145 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7410-1696-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481769> (05.07.2019).
5. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов и [др.]. – 8-е изд., стереотип. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 468 с.: ил.

## Дополнительная литература

1. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты // Перепелкин К. Е.– СПб.: ЦОП Профессия, 2015. –380 с.
2. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
3. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. // Михайлин Ю.А. –СПб.: ЦОП Профессия, 2015. –822 с.
4. Материаловедение: справочные материалы / авт.-сост. В.А. Брагин, Э.А. Бубнов, В.С. Крохалев ; Министерство образования и науки Российской Федерации и др. – Екатеринбург : , 2018. – 194 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=498300> (дата обращения: 29.01.2020). – Библиогр.: с. 166-168. – Текст : электронный.
5. Машиностроительная керамика / А.П. Гаршин и [др.]. – СПб: Изд-во СпбТУ, 1997. – 726 с.
6. Методы получения нанодисперсных порошков // Винников В. П., Генералов М. Б.– СПб.: ЦОП Профессия, 2016. –240 с.
7. Рогов, В.А. Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие / В.А. Рогов, В.В. Соловьев, В.В. Копылов. – М: РУДН, 2008. – 324 с.
8. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 311 с., ил.

9. Специальные стали и сплавы : учебное пособие / А.А. Ковалева, Е.С. Лопатина, В.И. Аникина, Т.Р. Гильманшина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. – Красноярск : СФУ, 2016. – 232 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497714> (дата обращения: 29.01.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-3470-3. – Текст : электронный.

### Интернет ресурсы

1. Расходные материалы для моделирования методом послойного наплавления (FDM/FFF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://3dtoday.ru/wiki/FDM\\_materials/](https://3dtoday.ru/wiki/FDM_materials/) – Дата обращения: 20.06.2019).

2. Пластик для 3D печати поддержки HIPPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://250041.ua.all.biz/plastik-dlya-3d-pechati-podderzhki-hips-g8707738> – Дата обращения: 20.06.2019).

3. Этапы 3D-печати. Цифровая модель с поддерживающими конструкциями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/Jetapy-3D-pechati> – Дата обращения: 20.06.2019).

4. Технологии лазерного аддитивного производства металлических изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/218271/> – Дата обращения: 20.06.2019).

5. Выборочное лазерное спекание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://3dtoday.ru/wiki/SLS\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/SLS_print/) – Дата обращения: 20.06.2019).

### Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

– Положение об управляемой самостоятельной работе студентов № 22 от 18.05.2011.

– Организация самостоятельной работы студентов в вузе [Электронный ресурс]: методические указания для преподавателей и студентов всех специальностей дневной формы обучения / М.М. Рыженко, И.Н. Степанкин, В.М. Кенько ; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого", Кафедра "Материаловедение в машиностроении". - Гомель : ГГТУ, 2009 - 58 с. УДК 378.147(075.8) ББК 74.580.26я73.

### Примерный перечень тем лабораторных занятий

#### Раздел 1 (4 семестр)

– Окончательная термическая обработка готовых изделий, полученных методами аддитивного синтеза

– Влияние исходных компонентов на свойства металлических порошков для технологий аддитивного синтеза

– Структура и свойства коррозионностойких, теплостойких и жаропрочных сплавов;

– Особенности структуры и механических свойств инструментальных сплавов для 3D-печати;

- Дефекты термической обработки в напечатанных изделиях и способы их устранения;
- Структура и свойства сплавов на основе медных порошковых материалов;
- Особенности структуры и свойств изделий из алюминиевых сплавов;
- Структура и свойства магниевых сплавов;
- Характерные особенности и свойства титана и его сплавов;

### **Раздел 2 (5 семестр)**

- Особенности структуры и свойств ABS-пластика;
- Механические свойства PLA-пластика;
- Определение предела прочности нейлона;
- Определение механических и эксплуатационных свойств полиэтилена;
- Свойства полипропилена;
- Механические и эксплуатационные свойства полиамида;
- Свойства порошкообразных керамических материалов;
- Определение свойств пастообразных керамических материалов

Основными методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссии, учебные дебаты), реализуемые на лабораторных занятиях и конференциях.

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения лабораторных занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием занятий;
- самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных заданий с консультациями у преподавателя, а также выполнение тестовых заданий путем обращения к заданиям, размещенным в электронном курсе дисциплины

Учебно-методическое обеспечение ориентировано на освоение студентами основ инновационных технологий, умение работать с научной и технической литературой. Изучение каждой темы помимо приведенных в учебной программе литературных источников предполагает использование материалов тематической печати, а также информационных ресурсов Internet.

Самостоятельная работа обучающегося складывается из следующих элементов:

- проработка прослушанного лекционного материала;
- подготовка к промежуточному контролю по итогам изучения учебных модулей;
- подготовка к слушанию очередной лекции;
- подготовка к выполнению лабораторной работы;
- подготовка к защите лабораторной работы;
- подготовка к экзамену.

### Критерии оценок результатов учебной деятельности

При оценке знаний обучающихся отметками в баллах по десятибалльной шкале применяются критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях высшего образования по десятибалльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь от 28.05.2013 г. № 09-10/53- ПО).

### Вопросы к экзамену (4 семестр)

1. Особенности металлических порошков для 3D-печати.
2. Краткая классификация металлических порошковых сплавов, применяемых в аддитивном производстве (нержавеющие, инструментальные, никелевые, медные, алюминиевые, титановые и CoCr).
3. Методы получения металлических порошков (физико-химические и механические).
4. Получение порошков при помощи газовой атомизации по технологии VIGA.
5. Получение порошков при помощи газовой атомизации по технологии EIGA.
6. Получение порошков при помощи газовой атомизации по технологии Plasma Atomization.
7. Получение порошков при помощи вакуумной атомизации по технологиям REP и PREP.
8. Технология Spray forming.
9. Особенности технологии Spray forming для равноканального углового прессования (РКУП).
10. Правила построения диаграмм состояния. Диаграмма состояния сплава компоненты которого обладают неограниченной растворимостью друг в друге в жидком и твердом состояниях.
11. Диаграмма состояния сплава образующего эвтектику. Механизм образования эвтектики. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой.
12. Компоненты, фазы, структурные составляющие сталей и чугунов. Характеристика, условия образования, основные свойства.
13. Диаграмма состояния "железо - цементит". Характеристика основных областей, линий и точек, практическое значение. Эвтектика, перитектика, эвтектоид.
14. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 0,2% углерода при охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.
15. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 0,6% углерода при охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.
16. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 1,0% углерода при охлаждении из жид-

кого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.

17. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 1,6% углерода при охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.

18. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 2,6% углерода при охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.

19. Диаграмма состояния "железо - цементит", изобразить диаграмму и построить кривую охлаждения сплава, содержащего 4,6% углерода при охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Определить критические точки и описать превращения в них. Как называется такой сплав и какова его структура в равновесном состоянии.

20. Классификация углеродистых сталей.

21. Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства стали.

22. Углеродистая сталь обыкновенного качества общего назначения. Химический состав, свойства, обозначение, применение.

23. Углеродистая качественная конструкционная сталь. Химический состав, свойства, обозначение, применение.

24. Углеродистая инструментальная сталь. Химический состав, свойства, обозначение, применение.

25. Ковкий чугун. Строение, свойства, условия получения, обозначение, применение.

26. Серый чугун. Строение, свойства, условия получения, обозначение, применение.

27. Высокопрочный чугун. Строение, свойства, условия получения, обозначение, применение.

28. Образование аустенита при нагреве. Влияние условий нагрева на рост зерна. Действительное и наследственное зерно.

29. Диаграмма изотермического распада аустенита.

30. Закалка стали. Сущность. Выбор режимов. Назначение.

31. Закаливаемость и прокаливаемость. Обработка холодом.

32. Разновидности объемной закалки сталей в зависимости от режима охлаждения. Поверхностная закалка стали.

33. Отпуск закаленной стали. Сущность, разновидности, основные режимы, назначение. Закалка с самоотпуском. Отпускная хрупкость первого и второго рода.

34. Отжиг стали. Назначение, общая характеристика и режимы проведения отжига 1 рода (диффузионного, для снятия напряжений, рекристаллизационного), отжига второго рода (полного, неполного, нормализационного).

35. Цементация стали. Виды, режимы, особенности последующей термообработки, назначение.

36. Азотирование стали. Виды, режимы, особенности предшествующей термообработки, назначение.
37. Нитроцементация (цианирование). Виды, режимы, особенности предшествующей и последующей термообработки, назначение.
38. Сущность легирования стали. Влияние легирующих элементов на механические и технологические свойства стали. Условное обозначение легированных сталей.
39. Классификация легированных сталей по структуре в равновесном состоянии, по степени легирования, по числу компонентов, по составу, по назначению.
40. Стали для измерительного инструмента.
41. Стали для режущего инструмента.
42. Стали для штампового инструмента.
43. Строительные стали (14Г2С, 17ГС, 15ХСНД).
44. Цементуемые стали (20Х, 18ХГТ, 12ХНЗА).
45. Улучшаемые стали (40Х, 30ХГСА, 40ХНЗА).
46. Азотируемые стали (38ХМЮА)
47. Автоматные стали (А40, АС40, А35Е, АЦ20)
48. Рессорно-пружинные стали (65Г, 60С2, 50ХФА, 95Х18, 20Х2Н4А).
49. Коррозионно-стойкие стали (25Х17, 40Х13, 09Х18Н10Т).
50. Жаростойкие и жаропрочные стали (12Х13, 15Х18СЮ, 09Х18Н10Т).
51. Износостойкие стали (110Г13Л).
52. Котлотурбинные стали (К12, К15, К16, К20, 12ХМ, 20Х3ВМФ).
53. Кавитационно-стойкие стали (30Х10Г10, 17Х18Н9ТЮ).
54. Магнитомягкие сплавы (1121, 2121, 3111).
55. Магнитотвердые сплавы (ЮНД8, ЮНДК18).
56. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением (Х15Н60, 0Х23Ю5А, 36Н, 36НХ, 29НК).
57. Твердые сплавы и современные сверхтвердые материалы.
58. Алюминиевые сплавы. Общая характеристика, обозначение, применение.
59. Бронза. Общая характеристика, обозначение, применение.
60. Латунь. Общая характеристика, обозначение, применение.
61. Титан и его сплавы; маркировка, свойства и область применения

### **Вопросы к экзамену (5 семестр)**

1. Классификация аддитивных технологий по формированию слоя, подводу энергии, используемому материалу. Классификация по стандарту ASTM. Краткая характеристика процессов.
2. Классификация применяемых материалов: жидкие фотополимеры, сыпучие, прутковые, листовые. Классификация полимерных материалов: термопласты, реактопласты
3. Механические, теплофизические и диэлектрические свойства полимерных материалов. Влияние молекулярной структуры, условий получения и внешней среды на свойства полимерных материалов.
4. Области применения полимерных материалов.
5. Вязкие свойства полимерных материалов. Методы определения вязких свойств полимерных материалов.
6. Кинетика отверждения терморективных материалов. Факторы, влияющие на

процесс.

7. Фотополимеры: акриловые, эпоксидные и др., физико-механические и технологические свойства, структура. Получение, использование фотополимеров.
8. Дисперсные (порошкообразные) полимерные материалы. Примеры дисперсных наполнителей: мел, тальк, каолин, металлические порошки, нанотрубки и др. Методы получения порошков и контроля параметров.
9. Основные технологические свойства порошков. Примеры порошкообразных полимерных материалов: ПА, ПС, ПММА и др.
10. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование дисперсных полимерных материалов.
11. Прутковые полимерные материалы. Получение прутков.
12. Основные технологические свойства непрерывных полимерных материалов. Примеры прутковых полимерных материалов: ПА, АБС-подобные, ПС, ПЛА и др.
13. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.
14. Листовые (пленочные) полимерные материалы. Получение пленок. Примеры используемых полимеров. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.
15. Полимеры со специальными свойствами.
16. Добавки, изменяющие основные характеристики полимеров (пластификаторы, стабилизаторы, модификаторы, пигменты).
17. Наполненные полимерные материалы для аддитивных технологий. Назначение наполнителя. Основные требования. Классификация.
18. Волокнистые и дисперсные наполнители, особенности структуры и свойств. Роль наполнителей в формировании свойств. Волокнистые наполнители.
19. Стекланные элементарные волокна. Классификация, способы получения, физико-механические свойства. Стекловолокнистые материалы (нити, ровинги). Способы получения. Особенности свойств. Области применения. Модифицирование поверхности наполнителя.
20. Углеродные волокна, получение, классификация, структура и физико-механические характеристики. Углеродные волокнистые материалы (нити), особенности свойств. Области применения.
21. Волокнистые и дисперсные наполнители растительного происхождения.
22. Технологии получения прутков. Параметры технологического процесса влияющие на физико-механические и технологические свойства получаемых стренг (прутков), структура, использование.
23. Однонаправленные материалы. Особенности метода получения стренг на основе термопластичных полимеров и непрерывных стеклянных или углеродных наполнителей. Параметры структуры и свойства однонаправленных материалов. Получение изделий.
24. Композиции дисперсных наполнителей с полимерными матричными материалами. Особенности метода получения стренг. Параметры структуры и свойства.
25. Вспомогательные материалы. Материалы платформы (стекло, металлы, акрил и др.). Устройство и назначение платформы, используемые подходы и материалы для обеспечения направленной адгезии.
26. Поддерживающие материалы. Назначение, основные требования к поддерживающим материалам. Примеры, использование, свойства.

- 27.Керамические материалы для аддитивных технологий. Классификация керамик, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Методы контроля свойств.
28. Порошкообразные керамические материалы. Методы получения: совместное соосаждение, распыление, криогенный и др. Примеры керамических порошков для аддитивных технологий: пески кварцевые, циркониевые, глины и др.
- 29.Получение порошковых композиций. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Термическая постобработка.
- 30.Пастообразные керамические материалы. Получение паст (коллоидных систем). Физико-механические и технологические свойства пастообразных керамических материалов, структура, использование. Термическая постобработка.
- 31.Вяжущие материалы для аддитивных технологий. Классификация вяжущих, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Методы контроля свойств
- 32.Бетоны, цементы, строительные смеси, и др., в том числе наполненные. Технологии получения, особенности свойств, применение.
33. Методы доработки материалов и изделий. Механическая обработка изделий полученных по аддитивным технологиям. Отделение от стола, удаление поддержки, сверление, фрезерование и др.
- 34.Химическая обработка. Удаление поддержки, повышение качества поверхности. Растворители для химической обработки, растворимость основного материала и материала поддержки. Применение методов для обработки поверхности: окунание, распыление и др.
- 35.Соединение деталей. Печать изделий из нескольких материалов для термодинамически несовместимых полимеров. Разработка сборной конструкции на стадии проектирования.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу ( с указанием даты и номера протокола)
Основы материаловедения и структурообразования	Материаловедение в машиностроении	Нет <hr/> И.Н. Степанкин	