

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
Учебно-методическое объединение по химико-технологическому образованию

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ В. А. Богуш

\_\_\_\_\_ /тип.  
Регистрационный № ТД- \_\_\_\_\_

**ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине для специальности  
1–36 07 02 Производство изделий на основе трехмерных технологий**

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник управления  
электроники и приборостроения,  
электротехнической,  
оптико-механической и  
станкоинструментальной  
промышленности  
Министерства промышленности  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ А. С. Турцевич  
\_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель Учебно-методического  
объединения по химико-  
технологическому образованию

\_\_\_\_\_ И. В. Войтов  
\_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Главного управления  
профессионального образования  
Министерства образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ С. А. Касперович  
\_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_

**СОГЛАСОВАНО**

Проректор по научно-методической  
работе Государственного учреждения  
образования «Республиканский  
институт высшей школы»

\_\_\_\_\_ И. В. Титович  
\_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_

Эксперт-нормоконтролер

\_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Е. И. Кордикова** – доцент кафедры механики и конструирования учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра «Инновационные процессы» филиала Белорусского национального технического университета «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

**А. И. Свириденко** – заместитель директора по научно-исследовательской работе Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой механики и конструирования учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 5 от 28 ноября 2017 г);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 3 от 29 декабря 2017 г);

Научно-методическим советом по машинам и аппаратам химических, пищевых и текстильных производств Учебно-методического объединения по химико-технологическому образованию (протокол № 1 от 15.01.2018 г);

Ответственный за редакцию: Е. И. Кордикова

Ответственный за выпуск: Е. И. Кордикова

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1–36 07 02–2016 специальности 1–36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий», утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 11 августа 2016 № 79, и типового плана специальности.

«Основы материаловедения и структурообразования» – одна из основных дисциплин специальности 1–36 07 02 – Производство изделий на основе трехмерных технологий.

**Целью** изучения дисциплины является специальная базовая подготовка студентов в области материаловедения и структурообразования материалов и процессов, применяемых в аддитивных технологиях.

**Основная задача** изучения дисциплины – дать студентам систематические сведения о группах материалов (металлах, полимерах, композиционных материалах, керамике); общих закономерностях формирования структуры органических и неорганических материалов; технологиях получения, структуре и свойствах материала в изделии, полученном по аддитивным технологиям с целью обоснования оптимальных технологических параметров и показателей свойств при создании изделий.

### Связь с другими учебными дисциплинами

Дисциплина «Основы материаловедения и структурообразования» является базой для изучения таких дисциплин специальности, как «Механика материалов аддитивного синтеза» и «Аддитивные технологии в промышленности».

Для успешного усвоения дисциплины «Основы материаловедения и структурообразования» необходимы знания по математике, физике, общей и неорганической химии.

### Требования к освоению учебной дисциплины

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

- виды исходных материалов для аддитивных технологий;
- особенности методов получения компонентов материалов, способы хранения и переработки;
- особенности физико-механических и технологических свойств термопластичных и термореактивных полимеров, металлов, стекла, керамики и вяжущих как основы материалов для аддитивного синтеза, волокнистых и порошковых наполнителей, модифицирующих добавок различного назначения;
- особенности структурообразования материалов на стадии производства изделий по трехмерным технологиям;

- принципы создания гибридных и анизотропных структур материалов в процессе производства по трехмерным технологиям;
- особенности свойств материалов в зависимости от параметров переработки;
- основные методы изучения структурных параметров и технологических свойств исходных материалов и материалов в готовых изделиях;
- области эффективного применения материалов различного типа;

**уметь:**

- выбирать материалы (полимерные, металлические, керамические и др.) и наполнители (дисперсные, волокнистые), тип структуры при проектировании изделий с учетом особенностей аддитивных технологий и условий эксплуатации;
- выбирать вид трехмерной технологии по критериям наибольшей эффективности обеспечения эксплуатационных свойств материалов в изделиях;

**владеть:**

- методологией выбора материалов для изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований;
- навыками обоснования и принятия решений о режимах технологии переработки материалов в изделия;
- навыками управления процессами получения материалов с заданными свойствами;
- навыками выбора методики, осуществления необходимых экспериментов и интерпретации их результатов.

### **Требования к компетенциям специалиста**

*Академические компетенции*

Студент должен:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-10. Уметь создавать и использовать в своей деятельности объекты интеллектуальной собственности.

*Социально-личностные компетенции*

Студент должен:

- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

### *Профессиональные компетенции*

Студент должен быть способен:

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

– ПК-5. Разрабатывать методы и технические средства экспериментального исследования материалов, изделий и процессов, метрологического, программного, организационно-методического обеспечения.

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

– ПК-9. Разрабатывать на изделия, получаемые по трехмерным технологиям производства, средства испытаний и элементы технологического оборудования следующую техническую документацию:

– проектную конструкторскую – аванпроект, техническое предложение, эскизный и технический проект;

– рабочую конструкторскую, эксплуатационную и ремонтную;

– технологическую – для стадий предварительного проекта, опытного образца и серийного производства;

– информационную – патентный формуляр, карты технического уровня, каталоги;

– нормативную – технические условия, сертификаты, инструкции и другие нормативные документы на изделия.

– ПК-26. Организовывать собственный труд и работу других исполнителей в соответствии с поставленными задачами, условиями и сроками их выполнения.

### **Структура и содержание учебной дисциплины**

На изучение дисциплины отводится всего 334 часа, в том числе 176 часов аудиторных занятий, из них 108 часов лекций и 68 часов лабораторных занятий.

Рекомендуемые формы контроля знаний – зачет и экзамен.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		
		Лекции	Лабораторные занятия	Всего
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>6</b>	–	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Полимерные материалы для аддитивных технологий</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>44</b>
2.1.	Классификация полимерных материалов	2	–	2
2.2.	Вязкие свойства полимерных материалов	2	6	8
2.3.	Кинетика отверждения термореактивных материалов	6	8	14
2.4.	Дисперсные полимерные материалы	6	–	6
2.5.	Прутковые полимерные материалы	6	2	8
2.6.	Листовые полимерные материалы	2	2	4
2.7.	Полимеры со специальными свойствами	2	–	2
<b>3.</b>	<b>Наполненные полимерные материалы для аддитивных технологий</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>42</b>
3.1.	Назначение наполнителя	4	–	4
3.2.	Волокнистые наполнители	8	8	16
3.3.	Дисперсные наполнители	4	6	10
3.4.	Технологии получения прутков и свойства композиционных материалов	8	4	12
<b>4.</b>	<b>Вспомогательные материалы</b>	<b>4</b>	–	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>Металлические материалы для аддитивных технологий</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>36</b>
5.1.	Классификация металлов и сплавов, применяемых в аддитивных технологиях	8	4	12
5.2.	Порошковые композиции на основе металлов	6	2	8
5.3.	Методы изготовления изделий из порошковых металлических материалов	4	4	8
5.4.	Металлические проволочные и листовые материалы	4	4	8
<b>6.</b>	<b>Керамические материалы для аддитивных технологий</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
6.1.	Классификация керамик	4	–	4
6.2.	Порошкообразные керамические материалы	6	6	12
6.3.	Пастообразные керамические материалы	4	8	12
<b>7.</b>	<b>Вязущие материалы для аддитивных технологий</b>	<b>6</b>	–	<b>6</b>
<b>8.</b>	<b>Методы доработки материалов и изделий</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
<b>Всего</b>		<b>108</b>	<b>68</b>	<b>176</b>

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1. Введение

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).

### 2. Полимерные материалы для аддитивных технологий

#### 2.1. Классификация полимерных материалов

Классификация полимерных материалов: термопласты, реактопласты. Механические, теплофизические и диэлектрические свойства. Влияние молекулярной структуры, условий получения и внешней среды. Области применения.

#### 2.2. Вязкие свойства полимерных материалов

Вязкие свойства полимерных материалов. Законы течения. Влияние параметров на показатели вязкости. Методы определения показателей вязких свойств полимерных и олигомерных материалов.

#### 2.3. Кинетика отверждения термореактивных материалов

Кинетика отверждения термореактивных 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.

#### 2.4. Дисперсные полимерные материалы

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.

#### 2.5. Прутковые полимерные материалы

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.

#### 2.6. Листовые полимерные материалы.

Листовые (пленочные) полимерные материалы. Получение пленок.

Примеры используемых полимеров. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.

### *2.7. Полимеры со специальными свойствами.*

Полимеры со специальными свойствами. Добавки, изменяющие основные характеристики полимеров (пластификаторы, стабилизаторы, модификаторы, пигменты).

## **3. Наполненные полимерные материалы для аддитивных технологий**

### *3.1. Назначение наполнителя.*

Назначение наполнителя. Основные требования. Классификация. Волокнистые и дисперсные наполнители, особенности структуры и свойств. Роль наполнителей в формировании свойств.

### *3.2. Волокнистые наполнители.*

Волокнистые наполнители. Стекловолоконные элементарные волокна. Классификация, способы получения, физико-механические свойства.

Стекловолоконные 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.

### *3.3. Дисперсные наполнители*

Дисперсные наполнители. Классификация, особенности свойств, влияние на свойства полимерных материалов. Примеры дисперсных наполнителей: мел, тальк, каолин, металлические порошки, нанотрубки и др.

### *3.4. Технологии получения прутков и свойства композиционных материалов.*

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 наполнителей. 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.

## **4. Вспомогательные материалы**

Материалы платформы. Устройство и назначение платформы, используемые подходы и материалы для обеспечения направленной адгезии.



Материалы платформы: стекло, металлы, акрил и др.

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

## **5. Металлические материалы для аддитивных технологий**

### *5.1. Классификация металлов и сплавов, применяемых в аддитивных технологиях*

Классификация металлов и сплавов, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Волокнистые и порошкообразные металлы и сплавы. Методы контроля свойств.

### *5.2. Порошковые композиции на основе металлов*

Порошкообразные металлы. Классификация и основные характеристики процессов производства металлических порошков: механические, химико-металлургические. Процессы диспергирования расплава, газовая, вакуумная, центробежная атомизация.

Примеры металлических порошков: Al, Cu, Ti-Al, Ag, Au, Co-Cr, Ni-Fe, инструментальные стали. Основные свойства, используемые методы контроля параметров, применение.

Порошковые композиции на основе металлов. Процессы подготовки и смешивания порошков. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.

### *5.3. Методы изготовления изделий из порошковых металлических материалов*

Методы изготовления изделий из порошковых металлических материалов. Процессы уплотнения и спекания. Сущность и технологические основы спекания.

Классификация методов спекания (твердофазное, жидкофазное). Механизмы процесса, стадии спекания. Термическая постобработка.

### *5.4. Металлические проволочные и листовые материалы*

Металлические проволочные материалы. Получение прутков. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.

Листовые металлические материалы. Получение фольги. Физико-механические и технологические свойства, структура, использование.

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

### *6.1. Классификация керамик*

Классификация керамик, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Методы контроля свойств.

### *6.2. Порошкообразные керамические материалы*

Порошкообразные керамические материалы. Методы получения: совместное соосаждение, распыление, криогенный и др.

Примеры керамических порошков для аддитивных технологий: пески кварцевые, циркониевые, глины и др. Получение порошковых композиций.

Физико-механические и технологические свойства, структура, использование. Термическая постобработка.

### *6.3. Пастообразные керамические материалы*

Пастообразные керамические материалы. Получение паст (коллоидных систем).

Физико-механические и технологические свойства пастообразных керамических материалов, структура, использование. Термическая постобработка.

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

Классификация вяжущих, применяемых в аддитивных технологиях. Основные физико-механические и технологические свойства. Методы контроля свойств.

Примеры вяжущих материалов: бетоны, цементы, строительные смеси, и др., в том числе наполненные. Технологии получения, особенности свойств, применение.

## **8. Методы доработки материалов и изделий.**

Механическая обработка изделий полученных по аддитивным технологиям. Отделение от стола, удаление поддержки, сверление, фрезерование и др.

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.

Соединение деталей. Печать изделий из нескольких материалов для термодинамически несовместимых полимеров. Разработка сборной конструкции на стадии проектирования.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. Материаловедение: Уч. пос. для вузов / Тарасенко Л. В. – НИЦ Инфра-М, 2017. – 475с.

2. Материаловедение: от технологии к применению. Металлы, керамики, полимеры // Каллистер У. Д. – Профессия, 2015. – 900 с.

3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие – 4-е испр. и доп. изд. / под ред. Л.А. Берлина. – СПб.: ЦОП Профессия, 2014. – 592 с.

4. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты // Перепелкин К. Е. – СПб.: ЦОП Профессия, 2015. – 380 с.

5. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. // Михайлин Ю.А. – СПб.: ЦОП Профессия, 2015. – 822 с.

6. Методы получения нанодисперсных порошков // Винников В. П., Генералов М. Б. – СПб.: ЦОП Профессия, 2016. – 240 с.
7. Азбука бетона // Зоткин А. Г. – СПб.: ЦОП Профессия, 2017. – 244 с.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Фотохимия полимеров и красителей // Сафонов В.В. – СПб.: ЦОП Профессия, 2014. – 296 с.
2. Полимерные оптические материалы // Серова В.Н. – СПб.: ЦОП Профессия, 2015. – 384 с.
3. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников // Под ред. Лонг Ю, Перевод с англ. под ред. Кулезнева В. Н. – СПб.: ЦОП Профессия, 2013. – 360 с.
4. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция // Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. – СПб.: ЦОП Профессия, 2012. – 196 с.
5. Свойства пленок из пластмасс и эластомеров // Л. МакКинли, перевод с англ. – СПб.: Профессия, 2015 – 550 с.
6. Бобович, Б. Б. Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение): уч. пособие для студентов высших учебных заведений / Б. Б. Бобович. – Москва: Форум, 2014. – 398 с.

### **Интернет ресурсы**

1. Пластик для 3D печати поддержки HIPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://250041.ua.all.biz/plastik-dlya-3d-pechati-podderzhki-hips-g8707738> – Дата обращения: 09.06.2017).
2. Этапы 3D-печати. Цифровая модель с поддерживающими конструкциями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/Jetapy-3D-pechati> – Дата обращения: 09.06.2017).
3. Технологии лазерного аддитивного производства металлических изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/218271/> – Дата обращения: 09.06.2017).
4. Выборочное лазерное спекание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://3dtoday.ru/wiki/SLS\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/SLS_print/) – Дата обращения: 09.06.2017).
5. Обзор производителей расходных материалов для FDM 3D-принтеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/231299/> – Дата обращения: 09.06.2017).

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

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, формирование умений, навыков по изучаемой дисциплине, активизация учебно-познавательной деятельности обучающихся, формирование умений и навыков

самостоятельного приобретения и обобщения знаний, формирование умений и навыков самостоятельного применения знаний на практике. В рамках дисциплины предусмотрена *самостоятельная работа* в виде:

- освоения теоретического материала по учебным пособиям;
- оформления отчетов по лабораторным работам в аудитории во время проведения занятий в соответствии с расписанием.

Задания для самостоятельной проработки тем теоретического раздела курса выдаются преподавателем, читающим лекционный курс дисциплины, на лекции, посвященной данной тематике.

Задания по подготовке к лабораторным занятиям выдаются преподавателем, ведущим занятия, в период их проведения. Защита лабораторных работ студентами проводится в присутствии преподавателя, выдавшего задание на выполнение этого вида самостоятельной работы. Результаты текущего контроля знаний используются при проведении зачета и экзамена.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики**

Оценка промежуточных учебных навыков студентов осуществляется по результатам достижения поставленных целей на лабораторных работах.

Для контроля качества усвоения знаний и оценки уровня знаний и умений студентов рекомендуется использовать следующие диагностические средства:

- контрольные опросы;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой;
- зачет, экзамен.