

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ

Директор по образовательной  
деятельности



С.Т. Князев  
2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

**Код модуля**  
1152078

**Модуль**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**Екатеринбург, 2020**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Лазерные, аддитивные и упрочняющие технологии в машиностроении	<b>Код ОП</b> 12.03.05/33.11
<b>Направление подготовки</b> <i>Лазерная техника и лазерные технологии</i>	<b>Код направления и уровня подготовки</b> <i>12.03.05</i>

Области образования, в рамках которых реализуется модуль образовательной программы по СУОС УрФУ:

№ п/п	Перечень областей образования, для которых разработан СУОС УрФУ	Уровень подготовки
1.	Инженерное дело, технологии и технические науки, утвержден приказом ректора УрФУ № 1069/03 от 28.12.2018	бакалавриат

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Макаров Алексей Викторович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий
2	Соболева Наталья Николаевна	к. т. н., доцент	доцент	Литейного производства и упрочняющих технологий
	Шанчуров Сергей Михайлович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ**

**Код модуля**  
1152078

**Модуль**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**Екатеринбург, 2020**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Лазерные, аддитивные и упрочняющие технологии в машиностроении	<b>Код ОП</b> 12.03.05/33.11
<b>Направление подготовки</b> Лазерная техника и лазерные технологии	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 12.03.05

Области образования, в рамках которых реализуется модуль образовательной программы по СУОС УрФУ:

<b>№ п/п</b>	<b>Перечень областей образования, для которых разработан СУОС УрФУ</b>	<b>Уровень подготовки</b>
1.	Инженерное дело, технологии и технические науки, утвержден приказом ректора УрФУ № 1069/03 от 28.12.2018	бакалавриат

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Макаров Алексей Викторович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий
2	Соболева Наталья Николаевна	к. т. н., доцент	доцент	Литейного производства и упрочняющих технологий
	Шанчуров Сергей Михайлович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

## Лазерные технологии в машиностроении

### 1.1. Аннотация содержания модуля

Освоение модуля направлено на освоении студентами базовых лазерных технологий машиностроительного производства, связанных с разновидностями процессов обработки и получения готовой продукции. Излагаются принципиальные схемы и особенности способов лазерной обработки и получения изделий, основные операции технологического процессов и применяемое основное оборудование.

Задачей изучения дисциплин модуля является овладение студентами теоретическими закономерностями, принципами и практическими навыками изготовления продукции с использованием лазерных технологий с учетом особенностей различных технологических приемов и отдельных производственных операций.

В результате изучения модуля обучающийся должен демонстрировать знание сущности и последовательности технологических процессов изготовления изделий и конструкций с использованием различных лазерных технологий. Обучающийся должен оценивать влияние технологических режимов и параметров на показатели качества заготовок, причины возникновения дефектов. На основе усвоения этих знаний обучающийся должен демонстрировать умения управлять процессами формирования продукции с использованием лазерных технологий; совершенствовать существующие и разрабатывать новые технологические процессы; производить выбор рациональных технологических режимов для обеспечения заданного уровня качества; разрабатывать и осуществлять мероприятия по устранению дефектов заготовок.

### 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах и часах
1.	Взаимодействие лазерного излучения с веществами	4/144
2.	Лазерная сварка и разделение материалов	3/108
3.	Лазерная термическая обработка сплавов	3/108
4.	Проектирование и моделирование конструкций для лазерной обработки	4/144
5.	Проект по модулю	1/36
ИТОГО по модулю:		15/540

### 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Инженерная графика и элементы конструирования 2. Материаловедение
<b>Постреквизиты и корреквизиты модуля</b>	1. Технологии материалов 2. Экономика и управление предприятием

#### 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)			
		Знания:	Умения:	Требуемый практический опыт, владение	Другие результаты
1	2	3	4	5	6
Проектирование и моделирование конструкций для лазерной обработки Взаимодействие лазерного излучения с веществами Лазерная сварка и разделение материалов Лазерная термическая обработка сплавов	ОПК-2. Способен формализовывать и решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, используя методы моделирования и математического анализа.	РО 1-3 ОПК 2 Привести примеры использования методов моделирования и математического анализа в решении задач, относящихся к профессиональной деятельности РО 2-3 ОПК 2 Перечислить и дать краткую характеристику освоенным за время обучения пакетам прикладных программ, используемых для моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности	РО 1-У ОПК 2 Обоснованно выбрать возможные методы моделирования и математического анализа для предложенных задач профессиональной деятельности РО 2-У ОПК 2 Выбирать пакеты прикладных программ для использования их в моделировании при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности.	РО 1-В ОПК 2 Решать поставленные задачи, относящиеся к области профессиональной деятельности, используя освоенные за время обучения пакеты прикладных программ для моделирования и математического анализа.	РО1-ЛК ОПК2 Способность к самообразованию, к самостоятельному освоению новых методов математического анализа и моделирования
	ПК-1. Способен разрабатывать и корректировать технологические процессы получения продукции лазерными, аддитивными и упрочняющими технологиями, анализировать области	РО1-3 ПК1. Описывать основные разделы отечественной и международной нормативной документации, стандартов в области лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий.  РО2-3 ПК1. Описывать гидравлические, физико-	РО1-У ПК1. Анализировать и обобщать опыт предыдущих разработок конструкций изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий.  РО2-У ПК1. Обосновывать методы и способы изготовления	РО1-В ПК1. Формулировать предложения по выбору оптимального варианта конструкций изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий и технологического процесса их	Демонстрировать умения взаимодействовать со смежными подразделениями

	<p>применения способов с учетом их ограничений</p>	<p>химические и теплофизические закономерности формирования изделий лазерными, аддитивными и упрочняющими технологиями.</p> <p><b>PO3-3 ПК1.</b> Классифицировать виды и способы лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий, описывая области применения и ограничения в использовании.</p> <p><b>PO4-3 ПК1.</b> Выполнить обзор специальных программных продуктов по моделированию изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий с симуляции технологического процесса их формирования.</p> <p><b>PO5-3 ПК1.</b> Объяснять основные принципы конструирования и разработки изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий и их назначение.</p>	<p>продукции лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий на основе анализа конструкции детали.</p> <p><b>PO3-У ПК-1.</b> Выбирать специальные программные продукты по моделированию лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий с симуляцией процесса формирования изделий.</p> <p><b>PO4-У ПК-1.</b> Определять оптимальный вариант конструкции изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий и технологического процесса изготовления на основе симуляции процесса.</p> <p><b>PO5-У ПК1.</b> Анализировать возможность и причины появления характерных дефектов и несоответствия продукции, разрабатывает меры их предотвращения.</p>	<p>осуществления.</p> <p><b>PO2-В ПК1.</b> Иметь опыт выполнения технических заданий на технологические процессы производства изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий.</p> <p><b>PO3-В ПК1.</b> Выполнять подготовку исходных данных для расчета показателей технологического процесса производства изделий лазерных, аддитивных и упрочняющих технологий.</p>	
--	--	--	---	--	--

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной, очно-заочной и заочной.



**ПРОГРАММА МОДУЛЯ**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ 1**

**Взаимодействие лазерного излучения с веществами**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Соболева Наталья Николаевна	к. т. н., доцент	доцент	Литейного производства и упрочняющих технологий

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ 1

### Взаимодействие лазерного излучения с веществами

#### 2.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Смешанная модель обучения с использованием онлайн-курса УрФУ.

#### 2.2. Содержание дисциплины 1

Таблица 1.3

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1.	Введение в дисциплину. Свойства и характеристики лазерного излучения.	Основные физические явления взаимодействия электронов с веществом. Генерация лазерного излучения. Отличительные особенности лазерного излучения. Когерентность, монохроматичность, поляризация. Пространственные характеристики лазерного излучения. Структура лазерных пучков. Энергетические характеристики лазерного излучения.
2.	Энергетические условия взаимодействия лазерного излучения при обработке материалов.	Поглощательная способность материалов. Коэффициенты отражения. Поглощающие покрытия. Влияние формы поверхности на поглощательную способность. Способы повышения поглощательной способности металлов. Нагрев при лазерном воздействии без разрушения. Режим стационарного разрушения. Схема энергозатрат и уравнения баланса в режиме стационарного проплавления.
3.	Плазменные процессы при воздействии лазерного излучения.	Возникновение и развитие лазерной плазмы. Современные представления об образовании плазменного факела. Особенности плазменных процессов при лазерной обработке в защитных газах. Пороговая плотность мощности. Экранирующее действие плазмы.
4.	Тепловые процессы при воздействии лазерного излучения.	Эффективная тепловая мощность. Термический КПД. Процесс распространения теплоты источника лазерного излучения. Уравнения, описывающие процесс распространения теплоты, для быстро движущегося, стационарного, мгновенно сосредоточенного источников.
5.	Термодеформационные процессы и превращения в металлах при воздействии лазерного излучения	Деформации и напряжения, особенности распределения остаточных напряжений и деформаций. Теоретические и экспериментальные методы определения деформаций и напряжений. Технологическая прочность металлов при воздействии лазерного излучения: образования холодных и горячих трещин в металлах, повышение сопротивляемости образованию

		трещин.
6.	Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниками, диэлектриками.	Оптические процессы в поглощающих полупроводниках. Процессы передачи энергии в поглощающих полупроводниках. Кинетика возбуждения полупроводников лазерным излучением. Особенности взаимодействия лазерного излучения с диэлектриками. Изменение поглощательной способности прозрачных диэлектриков в процессе лазерного облучения. Оптический пробой.

**2.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации.**

## **2.4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Взаимодействие лазерного излучения с веществами**

#### **Рекомендуемая литература**

##### **Основная литература**

1. Вакс, Е. Д. Практика прецизионной лазерной обработки / Е.Д. Вакс ; М.Н. Миленский ; Л.Г. Сапрыкин .— Москва : Техносфера, 2013 .— 710 с. — (Мир физики и техники) .— ISBN 978-594836-339-4 .— <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233734>>.
2. Таксанц, М. В. Энергетические параметры и характеристики лазерного излучения: метод. указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Измерение и контроль параметров лазерного излучения» : / Таксанц М.В., Майоров Л.Н. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2014 .— ISBN 978-5-7038-3847-1 .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=58392](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58392)>.
3. Таксанц, М. В. Численное моделирование тепловых полей при лазерной обработке: Учеб. Пособие : / Таксанц М.В., Майоров Л.Н., Харахашев А.Х. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2007 .— ISBN 5-7038-2839-2 .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=58476](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58476)>.

##### **Дополнительная литература**

1. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика / В.П. Вейко [и др.] ; под ред. В.И. Конова .— Москва : Физматлит, 2008 .— 310 с. : ил., граф., табл. — .— ISBN 978-5-92210934-5 .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59505](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59505)>.
2. Григорьянц, Александр Григорьевич. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц .— М. : Машиностроение, 1989 .— 300 с. ; 22 см .— без грифа .— ISBN 5-217-00432-0. - 11 экз.
3. Григорьянц, Александр Григорьевич. Лазеры на парах меди : / А. Г. Григорьянц, М. А. Казарян, Н. А. Лябин .— Москва : Физматлит, 2005 .— 312 с., [4] л. цв. ил. : ил. — .— Предм. указ.: с. 304-307 .— Библиогр.: с. 287-303 .— ISBN 5-9221-0496-9 ((в пер.)) .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59363](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59363)>.

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

<http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>

<http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=80>

#### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://lib.urfu.ru> - зональная научная библиотека УрФУ

## 2.5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Взаимодействие лазерного излучения с веществами

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
	Лекции; Проектное обучение;  Практические занятия; Лабораторные занятия; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов;	Лекционная аудитория Р 132, Мт 133 Компьютерный класс Мт 131  1. Роботизированный волоконный лазер ЛС-5 на базе робот-манипулятора KUKA KR 60 HA, г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.06  2. Система прецизионной лазерной резки RX-150. г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021  3. Лазер НТФ-150 «Булат». г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021  4. Установка EOS M280 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4  5. Установка EOS P 396 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4	

**ПРОГРАММА МОДУЛЯ**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ 2**

**Лазерная сварка и разделение материалов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Шанчуров Сергей Михайлович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ 2

### Лазерная сварка и разделение материалов

#### 2.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Смешанное обучение с использованием онлайн-курса;

#### 2.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.3

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1.	Классификация способов лазерной сварки, технологические возможности лазерной сварки.	Введение. Классификация способов лазерной сварки. Определение понятия «Лазерная сварка». Энергетические признаки лазерной сварки. Технологические признаки. Экономические признаки. Основные преимущества лазерной сварки перед дуговой, электронно-лучевой и контактной сваркой. Социальные преимущества лазерной сварки. Особенности, затрудняющие универсальное применение лазерной сварки.
2.	Физические процессы образования сварного соединения при сварке материалов малых толщин и при лазерной сварке с глубоким проплавлением.	Особенности воздействия импульсов лазерного излучения на металлические материалы. Особенности нагрева и плавления материала. Распространение теплового потока в материале. Критическая плотность теплового потока, глубина распространения температуры. Энергетическое условие достижения лазерной сварки с минимальным испарением. Формирование сварного соединения при сварке металла малых толщин. Стадии развития процессов плавления при незначительном и интенсивном испарении материала. Физическая модель образования «кинжального» проплавления при лазерной сварке. Основные физические процессы, сопровождающие формирование сварного соединения при непрерывном и импульсно - периодическом излучении мощных газовых и твердотельных лазеров. Энергетическое условие начала «кинжального» проплавления. Образование волны сжатия и факела. Перенос расплавленного металла в сварочной ванне. Возникновение дефектов при формировании сварных соединений.
3.	Технология лазерной сварки материалов малых толщин и металлов с глубоким проплавлением. Особенности проектирования деталей с использованием лазерной сварки с глубоким	Параметры режимов сварки. Энергия и длительность импульса. Диаметр сфокусированного луча. Расфокусировка. Скорость сварки. Взаимосвязь параметров режима сварки с критериями качества. Способы ввода присадочного материала. Типы сварных соединений. Основные параметры режимов сварки: мощность лазерного излучения, скорость сварки, фокусное

	проплавлением.	расстояние, положение фокуса относительно поверхности свариваемых материалов. Вспомогательные параметры режимов сварки. Влияние параметров режима сварки на критерии качества сварного соединения. Основные условия проектирования сварных конструкций. Корпусные детали, валы, оси, составные детали механизмов и машин, шестерни, детали арматуры. Учет специфических особенностей процесса ЛС при проектировании типа соединения. Подготовка кромок и бока под сварку. Основные виды дефектов при ЛС с глубоким проплавлением и причины их возникновения. Методы неразрушающего контроля: радиографический, ультразвуковой, магнитный и капиллярный.
4.	Гибридные технологии лазерной сварки.	Лазерно-дуговая сварка (ЛДС). Схемы процесса ЛДС. Влияние режимов ЛДС на геометрию формы шва. Достоинства ЛДС. Лазерно-плазменная сварка (ЛПС). Схемы процесса ЛПС. Преимущества ЛПС. Лазерно-светолучевая сварка. Достоинства и преимущества лазерно-светолучевой сварки. Лазерно-индукционная сварка (ЛИС). Функциональная схема ЛИС. Преимущества ЛИС. Лазерно-ультразвуковая сварка (ЛУС). Схемы ЛУС: несоосная и соосная. Влияние ЛУС на структурно-фазовый состав металла. Лазерная двухлучевая сварка (ЛДС). Способы ЛДС: суперпозиционный, последовательный и параллельный.
5.	Технологические особенности лазерной сварки различных материалов. Примеры промышленного применения лазерной сварки.	ЛС сталей. Сварка конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Сварка конструкционных углеродистых и легированных сталей. Сварка высоколегированных сталей. Рекомендации при ЛС сталей. Выбор режимов ЛС сталей. ЛС алюминиевых сплавов. Особенности ЛС алюминиевых сплавов. Технологическая схема ЛС алюминиевых сплавов. ЛС алюминиевых сплавов с применением флюса. Выбор параметров режима ЛС. Влияние ЛС на пористость, структуру и усадку металла. ЛС магниевых сплавов. Особенности ЛС магниевых сплавов. ЛС никелевых сплавов. ЛС титановых сплавов. ЛС керамических и композиционных материалов: соединение керамики и стекла. Применение ЛС в электронной и радиотехнической промышленности. Применение ЛС для изготовления деталей машин и механизмов. Применение ЛС в изделиях ракетно-космической и авиационной техники.
6.	Особенности лазерного разделения материалов. Технология лазерной резки неметаллических и	Определение процесса лазерного разделения. Преимущества лазерных методов разделения. Методы лазерной резки: разделительная сквозная резка, термораскалывание, скрайбирование. Стадии

	металлических материалов.	<p>лазерного разделения: поглощение излучения и последующая передача энергии внутрь тела; нагревание материала без разрушения; изменение агрегатного состояния вещества; удаление материала из зоны взаимодействия; остывание материала.</p> <p>Механизмы лазерного разделения материалов. Процессы, характеризующие испарение. Процессы, характеризующие плавление с удалением расплава из зоны обработки. Термораскалывание.</p> <p>Термохимическое воздействие.</p> <p>Влияние на эффективность процесса: энергетических параметров, оптических параметров, газодинамических параметров. Примеры лазерной резки неметаллических материалов: кварца, стекла, стеклотекстолита, текстиля и др. Лазерное управление термораскалыванием и его основные преимущества и недостатки. Применение при термораскалывании CO<sub>2</sub>-лазера. Термораскалывание излучением твердотельного ЛУЛО-лазера. Области применения управляемого термораскалывания стекла. Лазерное скрайбирование, его преимущества. Лазерное скрайбирование полупроводниковых и керамических пластин.</p> <p>Механизмы газолазерной резки (ГЛР) металлов.</p> <p>Стадии разрушения в процессе резки металлов непрерывным излучением. Схемы формообразования реза по глубине материала при обработке тонколистового металла и деталей больших толщин. Влияние параметров процесса ГЛР на качество резки. Три основные зоны на поверхности реза. Технологические рекомендации по ГЛР различных материалов.</p>

**2.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации.**

#### **2.4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Лазерная сварка и разделение материалов**

###### **Рекомендуемая литература**

###### **Основная литература**

1. Хомич, В. Ю. Основы создания систем электроразрядного возбуждения мощных CO<sub>2</sub>-, N<sub>2</sub>- и Б<sub>2</sub>-лазеров / В.Ю. Хомич ; В.А. Ямщиков .— М. : Издательство Физматлит, 2014 .— 165 с. — ISBN 978-5-9221-1583-4 .— <URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469621>.
2. Туманов, Юрий Николаевич. Плазменные высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах / Ю.Н. Туманов .— Москва : Физматлит, 2010 .— 967 с. : ил., табл. — Библиогр. в конце глав .— ISBN 978-5-9221-1211-6 .— <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\_cid=25&pl1\_id=2711>.
3. [Григорьянц, Александр Григорьевич](#). Основы лазерной обработки материалов /



А. Г. Григорьянц .— М. : Машиностроение, 1989 .— 300 с. ; 22 см .— без грифа .— ISBN 5-217-00432-0. - 11 экз.

4. Григорьянц, Александр Григорьевич. Лазеры на парах меди : / А. Г. Григорьянц, М. А. Казарян, Н. А. Лябин .— Москва : Физматлит, 2005 .— 312 с., [4] л. цв. ил. : ил. — .— Предм. указ.: с. 304-307 .— Библиогр.: с. 287-303 .— ISBN 5-9221-0496-9 ((в пер.)) .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59363](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59363)>.

#### **Дополнительная литература**

1. Лазерная техника и технология : Учеб. пособие для втузов: В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки/А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов / Под ред. А.Г. Григорьянца .— М. : Высш. шк., 1987 .— 191с. — допущено в качестве учебного пособия .— 0.40. - 6 экз.

2. Григорьянц, Александр Григорьевич. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц .— М. : Машиностроение, 1989 .— 300 с. ; 22 см .— без грифа .— ISBN 5-217-00432-0. - 11 экз.

3. Лазерные технологии на машиностроительном заводе / Н.Г. Терегулов, Б.К. Соколов, Г. Варбанов и др. ; Акад. наук. республики Башкортостан. Отд-ние физ.-мат. и техн. наук .— Уфа : Б. и., 1993 .— 263 с. : ил. — Библиогр.: с. 254-258 (106 назв.). — без грифа .— 30.00. - 15 экз.

4. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов : справ. / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора .— Москва : Машиностроение, 1985 .— 495 с. : ил. ; 22 см .— Авт. указаны на обороте тит. л. — Библиогр. в конце гл. — Предм. указ.: с. 490-495. - 6 экз.

5. Лазерная техника и технология : Учеб. пособие для втузов: В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки/А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов / Под ред. А.Г. Григорьянца .— М. : Высш. шк., 1987 .— 191с. — допущено в качестве учебного пособия .— 0.40. - 6 экз.

6. Григорьянц, Александр Григорьевич. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и технология высокоэффектив. процессов обраб. материалов" направления подгот. "Машиностроит. технологии и оборудование" / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров ; под ред. А. И. Григорьянца .— Изд. 2-е, стер. — Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 .— 664 с. : ил. ; 24 см .— Библиогр.: с. 662-663 (31 назв.). — Допущено в качестве учебного пособия .— ISBN 978-5-7038-2701-7. - 7 экз.

7. Григорьянц, Александр Григорьевич. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и технология высокоэффектив. процессов обраб. материалов" направления подгот. "Машиностроит. технологии и оборудование" / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров ; под ред. А. И. Григорьянца .— Изд. 2-е, стер. — Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 .— 664 с. : ил. ; 24 см .— Библиогр.: с. 662-663 (31 назв.). — Допущено в качестве учебного пособия .— ISBN 978-5-7038-2701-7. - 7 экз.

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы.**

##### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. <http://lib.urfu.ru>- зональная научная библиотека УрФУ.
2. <http://www.ntoire-polus.ru> - ООО НТО «ИРЭ-Полюс»
3. <http://www.rofin.com> - Lasers for Industry
4. <http://www.npkrapid.ru> - ООО НПК "Рапид"
5. <http://www.laserapr.com> - Группа компаний "Лазеры и аппаратура"
6. <http://www.lascenter.mephi.ru> - Лазерный центр МИФИ
7. <http://www.ru.trumpf.com> - компания ТРУМПФ
8. <http://www.prima-na.com> - компания Прима-Индастри
9. <http://www.laserapr.ru> - Группа компаний "Лазеры и аппаратура"
10. <http://lasercomponents.ru> - Компания "Лазерные компоненты"
11. <http://www.znt.ru> - ООО «Зенит Трейдинг»
12. <http://www.toroid.ru/laser.html> - ООО «Тороид»
13. <http://mt12navsegda.narod.ru/lastech.html> - Лазерная техника - Книги инженера
14. <http://www.iqlib.ru> - Электронно-библиотечная система IQlib.ru

15. <http://rucont.ru/> - Электронная библиотечная система

## 2.5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ 2

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
	Лекции; Проектное обучение;  Практические занятия; Лабораторные занятия; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов;	Лекционная аудитория Р 132, Мт 133 Компьютерный класс Мт 131  1. Роботизированный волоконный лазер ЛС-5 на базе робот-манипулятора КУКА KR 60 НА, г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.06  2. Система прецизионной лазерной резки RX-150. г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021  3. Лазер НТФ-150 «Булат». г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021  4. Установка EOS M280 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4  5. Установка EOS P 396 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4	

**ПРОГРАММА МОДУЛЯ**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ 3**

**Лазерная термическая обработка сплавов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Макаров Алексей Викторович	д. т. н. профессор	профессор	Литейного производства и упрочняющих технологий

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ 1

### Лазерная термическая обработка сплавов

#### 2.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Смешанная модель обучения с использованием онлайн-курса УрФУ.

#### 2.2. Содержание дисциплины 1

Таблица 1.3

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1.	Классификация методов поверхностной лазерной обработки, средства и технологические особенности лазерной термической обработки металлических материалов	Анализ и классификация методов поверхностной лазерной обработки. Особенности и преимущество лазерной термообработки материалов. Современная классификация технологических лазеров и оптических систем для лазерной термической обработки сплавов. Основные параметры импульсного лазерного упрочнения поверхностей. Основные параметры лазерной закалки непрерывным лазерным излучением. Факторы, влияющие на геометрические размеры зон лазерного воздействия: влияние режимов лазерной обработки, химического состава металла, поглощающих покрытий и состояния поверхности.
2.	Закономерности структурообразования и упрочнения железо-углеродистых сплавов при лазерной термообработке поверхности	Основные предпосылки и особенности термоупрочнения материалов лазерным излучением. Анализ фазовых превращений при лазерном нагреве железо-углеродистых сплавов. Физические особенности образования структур в сталях при лазерном нагреве. Сдвиг критических точек. Особенности структуры, образовавшейся при сверхвысоких скоростях лазерного нагрева и охлаждения. Проявление эффекта структурной наследственности и двухстадийности перекристаллизации сталей при сверхбыстром лазерном нагреве. Виды лазерного упрочнения: в твердой фазе, с переплавом материала, с механическим воздействием импульса отдачи. Особенности формирования структуры сплавов при лазерной обработке с оплавлением поверхности, аморфизация. Влияние лазерной закалки на структуру и упрочнение технического железа и сталей различных классов: доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных углеродистых, низколегированных, цементованных, высоколегированных инструментальных и штамповых, мартенситно-стареющих и др. Структура, фазовый состав и упрочнение поверхностных слоев чугунов различных типов после лазерной закалки.

		Лазерный отжиг и лазерный отпуск сплавов. Использование лазерного нагрева для интенсификации механической обработки сталей и сплавов. Технологии лазерного механического наклепа.
3.	Лазерная термическая обработка цветных металлов и сплавов	Особенности распределения остаточных деформаций и напряжений при лазерной обработке. Технологическая прочность металлов при лазерной обработке: горячие и холодные трещины. Износостойкость сплавов, упрочненных лазером. Влияние лазерной обработки на теплостойкость, сопротивление усталости и другие механические свойства сплавов, шероховатость поверхности, коррозионную стойкость, разгаростойкость, магнитные и другие функциональные свойства. Физические методы неразрушающего контроля упрочненных износостойких поверхностных слоев, сформированных лазерной закалкой.
4.	Свойства металлических сплавов после лазерной термической обработки	Эффективная тепловая мощность. Термический КПД. Процесс распространения теплоты источника лазерного излучения. Уравнения, описывающие процесс распространения теплоты, для быстродвижущегося, стационарного, мгновенно сосредоточенного источников.
5.	Комбинированные лазерно-механо-термические способы упрочнения металлических сплавов	Применение термической обработки (отпуска и обработки холодом) после лазерной закалки для дополнительного улучшения свойств железо-углеродистых сплавов. Электромагнитный контроль износостойкости и структурного состояния сталей и чугунов, подвергнутых лазерно-термическим обработкам. Использование методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения и повышения усталостной долговечности закаленных лазером сталей и чугунов. Наноструктурирующая фрикционная обработка – эффективный способ повышения твердости, теплостойкости и трибологических свойств закаленных лазером армко-железа и сталей. Формирование высокопрочных нанокристаллических и бимодальных структур комбинированными лазерно-механо-термическими обработками сталей.
6.	<b>Повышение эксплуатационной стойкости изделий машиностроения лазерной термической обработкой</b>	Лазерное упрочнение коленчатых валов тепловозов из высокопрочного чугуна. Лазерная обработка цапф лап буровых долот из цементованной хромоникелевой стали для повышения твердости, износостойкости и сопротивления контактно-усталостному разрушению. Увеличение ресурса блоков цилиндров двигателей из литейных алюминиевых

		сплавов лазерной обработкой. Лазерное упрочнение инструмента и быстроизнашивающихся деталей машин. Лазерное упрочнение прокатных валков.
--	--	--

**2.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации.**

## **2.4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Лазерная термическая обработка сплавов**

#### **Рекомендуемая литература**

1. Теория сварочных процессов : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению "Машиностроит. технологии и оборудование", специальность "Оборудование и технология сварочного пр-ва" / [А. В. Коновалов, А. С. Куркин, Э. Л. Макаров и др.] ; Моск. гос. техн. ун -т им. Н. Э. Баумана ; под ред. В. М. Неровного .— Москва : МВТУ им. Н. Э. Баумана, 2007 .— 749 с. : ил. ; 22 см .— (Приоритетные национальные проекты, Образование) .— Авт. указаны на обороте тит. л. — Библиогр.: с. 735-737. — Допущено в качестве учебника .— ISBN 978-5-70383020-8. Библиотека УрФУ (учебный фонд) (ул. Мира 19) - 28 экз.

2. Королев, Николай Васильевич. Расчеты тепловых процессов при сварке, наплавке и термической резке: Учебное пособие.— Екатеринбург : УГТУ, 1996 .— 156с. (Хранится на кафедре 40 шт.).

#### **Дополнительная литература**

1. Теория свариваемости сталей и сплавов: учебник/ Э. Л. Макаров, Б.Ф. Якушин; под ред. Э. Л. Макарова .— Москва : МВТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 .— 787 с. (Хранится на кафедре).

2. Коротков, В.А. Сварка специальных сталей и сплавов : учебно-методическое пособие / В.А. Коротков. - М. : Директ-Медиа, 2014. - 43 с. - ISBN 978-5-4458-5688-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=223468>

3. Шоршоров М.Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке [Текст]: Атлас / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов; Акад. наук СССР. Ин -т металлургии им. А. А. Байкова .— М. : Наука, 1972 .— 220 с. : ил. ; 24 см .— Библиогр.: с. 217-218 (88 назв.). (4 шт.).

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

<http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>

<http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=80>

#### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://lib.urfu.ru> - зональная научная библиотека УрФУ

## **2.5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Лазерная термическая обработка сплавов**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
	<p>Лекции; Проектное обучение;</p> <p>Практические занятия; Лабораторные занятия; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов;</p>	<p>Лекционная аудитория Р 132, Мт 133 Компьютерный класс Мт 131</p> <p>1. Роботизированный волоконный лазер ЛС-5 на базе робот-манипулятора KUKA KR 60 HA, г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.06</p> <p>2. Система прецизионной лазерной резки RX-150. г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021</p> <p>3. Лазер НТФ-150 «Булат». г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021</p> <p>4. Установка EOS M280 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4</p> <p>5. Установка EOS P 396 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4</p>	

**ПРОГРАММА МОДУЛЯ**  
**Лазерные технологии в машиностроении**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ 4**

**Проектирование и моделирование конструкций для лазерной обработки**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Соболева Наталья Николаевна	к. т. н., доцент	доцент	Литейного производства и упрочняющих технологий



## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ 1

### Проектирование и моделирование конструкций для лазерной обработки

#### 2.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Смешанная модель обучения с использованием онлайн-курса УрФУ.

#### 2.2. Содержание дисциплины 1

Таблица 1.3

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1.	Материалы сварных конструкции.	Механические свойства материалов. Сортамент прокатных профилей. Гнутые, штампованные, прессованные профили, преимущества и значение для снижения металлоемкости конструкций замкнутых коробчатых профилей, широкополочных двутавров, гофрированного листового проката, проката с противокоррозионными покрытиями.
2.	Сварные соединения и расчет их статической прочности	Типы сварных швов и соединений. Классификация сварных швов и соединений. Расчетные геометрические параметры швов. Сварные соединения, выполненные дуговой сваркой (ручной полуавтоматической и автоматической под флюсом и в среде защитных газов), электрической контактной сваркой (точечной, рельефной, шовной, стыковой). ГОСТы на типы и конструктивные элементы сварных швов. Механические свойства сварных соединений. Болтовые соединения в сварных конструкциях. Условные обозначения сварных швов на чертежах. Расчет статической прочности сварных соединений. Принципы расчета соединений по допускаемым напряжениям и предельным состояниям. Расчет по номинальным напряжениям при действии осевой силы соединений стыковых, тавровых, нахлесточных, точечных. Принцип равнопрочности соединений и прикрепляемого элемента. Расчет прикрепления уголка. Расчет соединений с угловыми швами на статическую прочность с учетом направления силы в шве. Расчет соединений на изгиб и сложное сопротивление.
3.	Концентрации напряжений и образование трещин	Общие сведения. Усложнение схемы напряженного состояния вблизи концентратора. Концентрация напряжений в соединениях, полученных сваркой плавлением (стыковых, тавровых, нахлесточных) и контактной сваркой (точечной, шовной). Влияние трещин на прочность сварных соединений. Появление трещины в концентраторе, начало движения и распространение трещины. Трещиноподобные и нетрещиноподобные дефекты. Расчетная оценка работоспособности сварных соединений в присутствии

		трещин. Влияние механической неоднородности на прочность сварных соединений. Особенности сварных соединений, полученных лазерной сваркой и гибридными технологиями сварки.
4.	Сопротивление усталости сварных соединений.	Принципы проектирования и расчет конструкций, предназначенных для работы при переменных нагрузках. Влияние температуры на прочность сварных соединений. Прочность при низких температурах. Влияние низких температур на работоспособность сварных конструкций. Прочность при высоких температурах..
5.	Практика сварных конструкций: балки, стойки, фермы, детали машин и прочие.	Деформации и напряжения, особенности распределения остаточных напряжений и деформаций. Теоретические и экспериментальные методы определения деформаций и напряжений. Технологическая прочность металлов при воздействии лазерного излучения: образования холодных и горячих трещин в металлах, повышение сопротивляемости образованию трещин.

**2.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации.**

#### **2.4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Проектирование и моделирование конструкций для лазерной обработки**

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Лазеры: применения и приложения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.С. Борейшо [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 520 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87570>. — Загл. с экрана.

<https://e.lanbook.com/reader/book/87570/#1>

2. Чернышов, Г.Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Г. Чернышов, Д.М. Шашин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 464 с. — Режим доступа: <https://e4anbook.com/book/12938>. — Загл. с экрана.

<https://e.lanbook.com/reader/book/12938/#2>

3. Быковский, О.Г. Справочник сварщика [Электронный ресурс] : справ. / О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2011. — 336 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2012>. — Загл. с экрана.

<https://e.lanbook.com/reader/book/2012/#3>

4. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных сооружений и деформации конструкций : Учеб. пособие для вузов / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. — М. : Высш. шк., 1982. — 272с. — допущено в качестве учебного пособия. Библиотека УрФУ (учебный фонд) (ул. Мира 19) - 48 экз.

5. [Николаев, Г.А.](#) Сварные конструкции: Расчет и проектирование: Учебник для вузов. — М. : Высш. шк., 1990. — 446с. — допущено в качестве учебника. — ISBN 5-06-001555-6. Библиотека УрФУ (учебный фонд) (ул. Мира 19) - 50 экз.

Дополнительная литература

1. Николаев, Г.А. Сварные конструкции: Технология изготовления.

Автоматизация производства и проектирование сварочных конструкций : Учеб. пособие для вузов / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров .— М. : Высш. шк., 1983 .— 344с. — (Высшее образование) .— допущено в качестве учебного пособия. Библиотека УрФУ (учебный фонд) (ул. Мира 19) - 39 экз.

2.Русско-англо-китайский словарь терминов по лазерной технике и технологиям [Электронный ресурс] : слов. / Ц. Ма [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 848 с. — Режим доступа: <https://e4anbook.com/book/3725>. — Загл. с экрана. <https://e.lanbook.com/reader/book/3725/#2>

**Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

<http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>

<http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=80>

**Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://lib.urfu.ru> - зональная научная библиотека УрФУ

**2.5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Взаимодействие лазерного излучения с веществами**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
	<p>Лекции; Проектное обучение;</p> <p>Практические занятия; Лабораторные занятия; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов;</p>	<p>Лекционная аудитория Р 132, Мт 133 Компьютерный класс Мт 131 1. Роботизированный волоконный лазер ЛС-5 на базе робот-манипулятора KUKA KR 60 HA, г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.06 2. Система прецизионной лазерной резки RX-150. г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021 3. Лазер НТФ-150 «Булат». г. Екатеринбург, ул. Мира 32, ком.021 4. Установка EOS M280 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4 5. Установка EOS P 396 для аддитивной 3D печати, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского 4</p>	