

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для самостійної роботи студентів

з вивчення дисципліни
«Сучасні технології в машинобудуванні»

для студентів зі спеціальності
131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Технології машинобудування»
усіх форм навчання

2023

Методичні рекомендації для самостійної роботи студентів з вивчення дисципліни «Сучасні технології в машинобудуванні» для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 22 с.

Укладач : Пухальська Г.В., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Рецензент: Козлова О.Б., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Відповідальний за
випуск Дядя С.І., к.т.н., доцент, зав. каф. ТМБ

Затверджено на засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
Протокол № 2 від 12 вересня 2023 р.

Рекомендовано до видання НМК МФ
Протокол № 2 від 14.09.2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ	5
1.1 Мета викладання дисципліни	5
1.2 Завдання вивчення дисципліни	5
1.3 Перелік дисциплін, засвоєння яких необхідно для вивчення дисципліни	5
2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ	7
2.1 Історичні передумови появи адитивних технологій, класифікація, матеріали та пост-обробка	7
2.2 Нанотехнології в машинобудуванні	9
2.3 Лазерна обробка	12
2.4 Перелік лабораторних занять та їх тривалість	16
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ	17
4 Рекомендована література	19
4.1 Основна література	19
4.2 Додаткова література	22

ВСТУП

Дисципліна “Сучасні технології в машинобудуванні” є однією із пріоритетних дисциплін спеціальності 131 Прикладна механіка - освітня програма «Технології машинобудування», що забезпечує якісну підготовку фахівця.

Термін, що передбачений робочим планом на аудиторні заняття з дисципліни, не дає можливості у необхідному обсязі викласти передбачений навчальний матеріал. Тому частина робочої програми дисципліни може не викладатися на аудиторних заняттях, що передбачає її самостійне вивчення. До того ж, і той матеріал, що викладається в аудиторії, теж повинен бути закріпленим шляхом самостійної роботи студента.

Вивчення дисципліни здійснюється згідно діючих навчальних планів в об'ємі 3 кредити. Видом контролю з дисципліни є іспит.

Мета цих методичних рекомендацій полягає в наступному:

- ознайомити студента з повним обсягом навчального матеріалу з дисципліни, який він повинен засвоїти, в тому числі і з тою частиною, яка повністю виносить на самостійне вивчення;
- навести необхідну навчальну літературу по кожній тематиці дисципліни;
- надати методичні вказівки та контрольні питання для самоперевірки знань;
- ознайомити студентів з заходами контролю засвоєння навчального матеріалу в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 Мета викладання дисципліни

Мета викладання дисципліни “Сучасні технології в машинобудуванні” ознайомлення студентів з концепціями сучасних технологій: адитивні технології, нанотехнології, гідроабразивна різка, лазерна обробка та іншими високими технологіями, що використовуються в сучасному машинобудівному виробництві.

1.2 Завдання вивчення дисципліни

Загальним завданням курсу є підготовка висококваліфікованих фахівців, які добре володіють знаннями та вміннями, що дозволить їм застосовувати передові технології в умовах сучасного машинобудівного виробництва. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати загальні та фахові компетентності.

ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ЗК2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ФК 1. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

1.3 Перелік дисциплін, засвоєння яких необхідно для вивчення дисципліни

Для успішного вивчення цієї дисципліни студенти повинні отримати знання з наступних фундаментальних та загально-інженерних дисциплін:

- технологічні основи машинобудування;
- вища математика;
- фізичне матеріалознавство;
- різальний інструмент;
- металорізальні верстати.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

По кожній тематиці вказані години на лекційні заняття. Години на самостійну роботу студента при вивченні кожної теми надані у розділі 3.

2.1 Історичні передумови появи адитивних технологій, класифікація, матеріали та пост-обробка - 4 години

2.1.1 Історія виникнення та розвитку; класифікація технологій 3D-друку

Історія виникнення та суть адитивних технологій. Класифікація технологій 3D-друку. FDM (Fused Deposition Modeling) - моделювання методом пошарового наплавлення; SLA (Stereolithography Apparatus) – стеріолітографія; SLM (Selective Laser Melting) - вибіркоче лазерне плавлення; DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – метод прямого лазерного спікання. Суть, недоліки, переваги і область застосування основних методів 3D-друку.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що 3D-друк радикально відрізняється від традиційного метода виробництва, коли матеріал видаляється з заготовки. Метод на основі 3D-друку дозволяє пошарово створювати деталь без заготовки, маючи тільки в наявності 3D-модель одержуваної деталі. Організація ASTM, що займається розробкою галузевих стандартів, розділяє 3D-адитивні технології на 7 категорій: витискання матеріалу, розбризкування матеріалу, розбризкування сполучного, з'єднання листових матеріалів, фотополімеризація у ванні, плавка матеріалу в заздалегідь сформованому шарі, пряме підведення енергії в місце побудови.

Література - [2-4, 6-8].

Питання для самоперевірки

- 1 Що таке адитивні технології?
- 2 Коли з'явилися перші технології 3D-друку?
- 3 Особливості технології FDM друку?
- 4 Переваги та недоліки SLA друку?

2.1.2 Матеріали для 3D-друку та аналіз методів пост-обробки; основні сфери застосування

Витратні матеріали, які використовуються для 3D-друку. ABS-пластик, соPET, PLA-пластик, PC, PET, нейлон: особливості, переваги, недоліки та область застосування. Методи, які використовуються для пост-обробки. Особливості фрезерування, якість поверхні після фрезерування, переваги методу.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми необхідно звернути увагу що Україна входить в топ країн с розвитою структурою послуг 3D-друку. В особливості для FDM-друку промисловість надає дуже різноманітний спектр витратних матеріалів. Основні пластики, які використовуються для 3D-друку: властивості, особливості, температури та особливості експлуатації. Обґрунтування пост-обробки. Основні методи пост-обробки. Якість та точність поверхні після фрезерування. Переваги фрезерування.

Література - [1, 9-12, 14-17, 23,24].

Питання для самоперевірки

- 1 Назвіть основні пластики, які використовуються для 3D-друку?
- 2 Назвіть основні властивості та температури експлуатації ABS-пластика?
- 3 Назвіть властивості соPET пластика?

- 4 Назвіть недоліки PLA-пластика?
- 5 PC та PET назвіть області застосування?
- 6 Особливості використання нейлону?
- 7 Охарактеризуйте основні методи пост-обробки?
- 8 Назвіть переваги фрезерування після 3D-друку?

2.2 Нанотехнології в машинобудуванні - 4 години

2.2.1 Основні поняття і визначення; структура і властивості наноструктурних матеріалів

Суть «нано», нанотехнології, наноматеріали. Нанокристалічні матеріали, нанокластери (атомні кластери, наночастинки, атомні частки. Фулерени, нанотрубки, нановолокна, нанопорошки, наноструктурні покриття, нанокompозити. Структура та зміна властивостей наноматеріалів в порівнянні з традиційними.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що нанонаука має свою специфічну систему термінів. Нано та наномасштаб. Об'ємні та консолідовані наноматеріали. Квантові точки, дрот, ями. Наночарові та нанокристалічні покриття. Нанонаука, наносистема, нанооб'єкт. Унікальні властивості наночасток і наноматеріалів. Критичний розмір елементу структури, при якому спостерігається "аномалія" властивостей.

Література - [31].

Питання для самоперевірки

1. Що таке «нано»?
2. Дайте визначення «нанотехнології»?
3. Дайте визначення «нанокластери» та «фулерени»?
4. Що таке нанотрубки та нановолокна?
5. Що таке нанокристалічні та наночарові покриття?
6. Дайте визначення «нанокompозити»?

2.2.2 Фізичні, хімічні та механічні властивості

Розмірна залежність фізичних властивостей матеріалів. Зміни електропровідності при переході до нанорозмірного стану. Розмірна залежність для магнітних властивостей. Зміна механічних властивостей для наноструктурних матеріалів - межі плинності, тимчасового опору, твердості, ударної в'язкості, втомної міцності тощо. Механізми підвищення міцності. Надпластичність наноматеріалів. Експлуатаційні властивості наноматеріалів.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що якщо розмір часток менше визначеної для кожної властивості характеристичної довжини, можлива поява нових фізичних властивостей. В порівнянні із звичайними матеріалами в наноматеріалах змінюються такі фундаментальні характеристики, як модуль пружності, питома теплоємність, температура плавлення, коефіцієнт дифузії, магнітні і електричні властивості. Наноструктури на основі вуглецю демонструють широкий діапазон електричних властивостей - від діелектричних до надпровідності: один і той же матеріал (вуглецеві нанотрубки) при різній дії, наприклад, легуванні або зміні геометрії може бути діелектриком, провідником, надпровідником. Висока питома поверхня наноматеріалів збільшує їхню здатність до адсорбції, капілярні властивості. Для багатьох наноструктурних матеріалів (покривів, об'ємних матеріалів) характерна підвищена стійкість до окиснення. Унікальною особливістю наноматеріалів є те, що властива їм висока міцність доповнюється і високою пластичністю або навіть надпластичністю, тобто досягається оптимальне поєднання властивостей міцність-пластичність. Нанокристалічні матеріали мають високі демпфуючі властивості, що важливо для зменшення шкідливих дій циклічних навантажень, яким піддаються різні конструкції, для зменшення шумів, пов'язаних з вібрацією механізмів, підвищення точності вимірів тощо.

Література - [31].

Питання для самоперевірки

1. Як змінюються фізичні властивості при переході до нанорозмірного стану?
2. Як змінюється електропровідність при переході до нанометрового розміру?
3. Магнітні властивості наноматеріалів?
4. Сорбційні характеристики нанотрубок?
5. Дайте характеристику механічних властивостей вуглецевих нанотрубок?
6. Дайте характеристику нанокристалічних покриттів?
7. Експлуатаційні властивості наноматеріалів?

2.2.3 Наноструктурні конструкційні матеріали; основні області застосування наноматеріалів і нанотехнологій

Створення принципово нового класу конструкційних матеріалів - з гранично високою міцністю, що поєднують високу міцність і пластичність, що мають високу питому міцність, здатні змінювати свою структуру і властивості в залежності від зовнішніх впливів і т.д. Поєднання високої міцності та пластичності, а також прояв ефекту надпластичності в наноматеріалах, забезпечує можливість їх ефективної обробки тиском та отримання на їх основі деталей та виробів складної форми для застосування у різних галузях. Наноматеріали конструкційного призначення можуть бути металевими, керамічними, полімерними, композиційними. Области застосування наноматеріалів і нанотехнологій.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що поєднання високої міцності та пластичності, а також прояв ефекту надпластичності в наноматеріалах забезпечує можливість їх ефективної обробки тиском. Багато груп конструкційних наноструктурних матеріалів є багатофункціональними. Основні напрями, у яких може бути досягнуто значного ефекту в

машинобудуванні завдяки застосуванню нанотехнологій, є: збільшення ресурсу різальних та обробних інструментів; модернізація парку високоточних та прецизійних верстатів; створення методів вимірювання та позиціонування, які забезпечать адаптивне управління різальним інструментом на основі оптичних вимірювань оброблюваної поверхні деталі та обробної поверхні інструменту безпосередньо в ході технологічного процесу.

Література - [31].

Питання для самоперевірки

1. Властивості матеріалів нанокристалічної будови?
2. Дати характеристику міцності вуглецевих нанотрубок?
3. Використання ефекту надпластичності в наноматеріалах?
4. Властивості та використання наноструктурної кераміки?
5. Область застосування магнітних властивостей наноструктур?
6. Застосування нанотехнологій в енергетиці?
7. Можливості застосування нанотехнологій у військовій сфері?
8. Рішення екологічних завдань за допомогою нанотехнологій?

2.3 Лазерна обробка – 4 години

2.3.1 Основні фізичні процеси лазерних технологій; лазерне різання та зварювання

Теплофізичні процеси, які відбуваються при взаємодії потужного лазерного випромінювання з речовиною: поглинання і нагрівання, плавлення, випаровування, утворення плазми. Лазерне різання: суть процесу; діапазон довжини хвиль; якість різу; переваги; схема головки для лазерного різання. Лазерне зварювання: суть процесу; схема лазерного зварювання.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на характер фізичних процесів, що відбуваються при взаємодії лазерного випромінювання з

речовиною. Технологічні процеси лазерної обробки матеріалів: лазерне різання та зварювання. Технологія термічного різання. Принцип концентрації лазерного променя на поверхні оброблюваної деталі. Переваги та застосування лазерного різання. Принцип роботи та схема головки для лазерного різання. Зварювання плавленням. Принцип роботи рубінового лазера. Використання твердотільних та газових лазерів.

Література - [19,20,22,34].

Питання для самоперевірки

1. Дати характеристику фізичних процесів при взаємодії лазерного випромінювання з речовиною?
2. Що таке лазерне різання?
3. Діапазон довжини хвиль при лазерному різанні?
4. Принципи лазерного різання?
5. Область застосування лазерного різання?
6. Переваги лазерного різання?
7. Назвати основні елементи головки для лазерного різання?
8. В чому суть лазерного зварювання?
9. Назвати основні елементи рубінового лазера?

2.3.2 Лазерне свердління та лазерна поверхнева обробка

Основними процесами при лазерному свердлінні матеріалів: розігрів, плавлення і випаровування із зони лазерного опромінення. Діапазон отворів, які можна отримати. Необхідна потужність лазера. Переваги та недоліки процесу. Область застосування. Зміцнювальна лазерна поверхнева обробка: суть процесу. Механізм зміцнення при лазерному впливі. Види лазерного зміцнення. Зміна експлуатаційних показників опромінених матеріалів. Застосування лазерного зміцнення.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що на відміну від відомих процесів і методів термозміцнення гартуванням, нагрівання при лазерній термообробці є не об'ємним, а поверхневим. Ефект зміцнення при лазерному впливі на металеві матеріали спостерігається внаслідок надвисоких швидкостей нагрівання і наступного охолодження матеріалу. Структурні і фазові перетворення супроводжуються утворенням специфічної ультрадисперсної однорідної структури з унікальними властивостями. Покращення багатьох експлуатаційних показників опромінених матеріалів - зносостійкості, теплостійкості, механічних характеристик, сприятливий розподіл залишкових напружень у поверхневому шарі матеріалів. Застосування лазерного зміцнення - інструментальне виробництво, зміцнення робочих поверхонь деталей машин і приладів, у тому числі великогабаритних деталей хімічного та енергетичного машинобудування. Переваги, недоліки та область застосування лазерного свердління.

Література - [19,20,22,34].

Питання для самоперевірки

- 1 Розкрийте суть лазерного свердління?
2. Розміри отворів, які можливо отримати лазерним свердлінням?
3. Назвіть переваги та недоліки лазерного свердління?
4. Область використання лазерного свердління?
5. Розкрийте суть зміцнювальної лазерної поверхневої обробки?
6. Розкрийте механізм зміцнення при лазерному гартуванні?
7. Яка структура утворюється при лазерному гартуванні?
8. Як змінюються експлуатаційні показники опромінених матеріалів?
9. Сфери застосування лазерного зміцнення?

2.3.3 Лазерне маркування

Суть лазерного маркування. Типи лазерів, які використовують для лазерного маркування. Лазерне гравіювання та лазерне травлення. Матеріали для лазерного гравіювання. Переваги лазерного маркування над іншими методами маркування. Якість маркування. Технічне обслуговування. Швидкість маркування.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на те, що лазерне маркування засноване на абляції матеріалу, тобто видаленні, за допомогою лазера та високої температури. Лазерне маркування підходить для програм, де ідентифікаційна інформація повинна залишатися на місці протягом багатьох років, навіть у складних умовах. На відміну від механічного гравіювання, лазерне маркування впливає локально, не залишаючи слідів на поверхнях поряд із маркерами. Матеріали для лазерного гравіювання. Переваги лазерного маркування.

Література – [19,20,22,34].

Питання для самоперевірки

1. Поясніть суть лазерного маркування?
2. Назвіть типи лазерів, які використовують для лазерного маркування?
3. Чим відрізняється лазерне гравіювання від лазерного травлення?
4. Назвіть матеріали для лазерного гравіювання?
5. Назвіть переваги лазерного маркування над іншими методами маркування?
6. Дайте характеристику якості та швидкості маркування?
7. Варіанти маркування?
8. Чим відрізняється лазерне маркування від механічного гравіювання?

2.4 Перелік лабораторних занять та їх тривалість

2.4.1 Лабораторна робота № 1 – 4 години.

«Дослідження якості поверхні та точності розмірів після FDM друку».

2.4.2 Лабораторна робота №2 – 4 години.

«Дослідження дисипативних властивостей та характеристик поверхневого шару наноструктурних покриттів пера лопаток компресора».

2.4.3 Лабораторна робота №3 – 4 години.

«Ознайомлення з основними можливостями лазерного гравіювального верстата NEJE Master 2S».

Методичні вказівки

При підготовці до проведення лабораторних робіт слід користуватись інструкціями [27-29], а також звернутись до відповідних розділів робочої програми.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

На підставі робочої програми дисципліни та вимог кредитно-модульної системи організації навчального процесу кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни.

Контрольні заходи з дисципліни “Сучасні технології в машинобудуванні” передбачають наступні кваліфікаційні завдання:

- опитування за окремими темами лекційного курсу;
- виконання та захист звітів лабораторних робіт;
- складання іспиту в кінці семестру.

Склад, обсяг і терміни виконання змістових модулів, на які підрозділяється робоча програма дисципліни, надані у табл. 3.1.

Для закріплення поточних знань на протязі семестру, до проведення підсумкового модульного контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування студентів за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує загальну оцінку. Слід зазначити, що всі заплановані заходи повинні бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання протягом одного-двох тижнів.

Студент, який одержав за результатами модульного контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни, отримує оцінку за іспит.

Таблиця 3.1 - Склад, обсяг і термін виконання змістового модулю з дисципліни “Сучасні технології в машинобудуванні”

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	ін д	с.р		л	п	лаб	ін д	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модуль 1												
Тема 1. Історичні передумови появи адитивних технологій, класифікація, матеріали та пост-обробка	32	4	-	4	-	24	34	2	-	2	-	30
Тема 2. Нано-технології в машинобудуванні	27	4	-	4	-	19	26	2	-	1	-	23
Тема 3. Лазерна обробка	27	4	-	4	-	19	26	2	-	1	-	23
Разом за змістовим модулем 1	86	12	-	12	-	62	86	6	-	4	-	76
ІНДЗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Усього годин	86	12	-	12	-	62	86	6	-	4	-	76

4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається частковий перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни “Сучасні технології в машинобудуванні”. Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані, не обмежуються тільки цим переліком.

4.1 Основна література

1. Комісаров, О.О. Пост-обробка деталей фрезеруванням на верстаті з ЧПК після 3D друку методом наплавлення // О.О. Комісаров, Г.В. Пухальська, С.І. Дядя // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №1. – 2024.- С. 31-40.

2. Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing / S. C. Ligon, R. Liska, J. Stampfl et al. // Chem. Rev., 2017. 117, 15 С. 10212– 10290. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>.

3. Адитивна технологія: опис, визначення, особливості застосування та відгуки. Адитивні технології в промисловості Режим доступу:<http://poradu.pp.ua/tehnka-tehnologyi/35539-aditivna-tehnologya-opis-vznachennya-osoblivost-zastosuvannya-ta-vguki-aditivn-tehnologyi-v-promislovost.html>.

4. 3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс] : конспект лекцій з дисципліни «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфременко. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 56 с.

5. Кузнецов, В. Е. CAD/CAM/CAE / В. Е. Кузнецов. Observer, 2003. №4 (13).С. 2-7.

6. 3D Printing: Understanding Additive Manufacturing, Andreas Gebhardt, Julia Kessler, Laura Thurn, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2018. – 204 p.

7. Komisarov O. FDM 3D-printing // G. Pukhalska / Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма X Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.) – Суми: Сумський державний університет, 2023. –с. 57-59.

8. Williams, L. Additive Manufacturing or 3D Scanning and Printing, Manufacturing Engineering Handbook, 2nd ed. / L. Williams. McGraw-Hill Education. 2016. 459 p.

9. Turner, B. N. A review of melt extrusion additive manufacturing processes / B. N. Turner, R. Strong, A. Scott // *Gold Rapid Prototyping Journal*, 0(3), 2014. p. 192–204.
10. A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead / L. David, Joseph Bourella, Jr.a, Beaman, C. Leub, Ming, W., David. RosencRapidTech US-Turkey Workshop on Rapid Technologies, 2009. Istanbul.
11. Kazemi, M. Supports effect on tensile strength of the stereolithography parts / M. Kazemi, A. Rahimi // *Rapid Prototyping*, 21, 2015, p. 79–88.
12. Jacobs, P.F. *Rapid prototyping & manufacturing: fundamentals of stereolithography* / P.F. Jacobs. Society of Manufacturing Engineers, New York, U.S. 1993. 434 p.
13. Zhang, X. Micro-stereolithography of polymeric and ceramic microstructures / X. Zhang, X. Jiang, C. Sun // *Sensor Actuat A-Phys.*, 2009. p. 77–149.
14. *3D Printing: Technology, Applications, and Selection*, Rafiq Noo-rani, CRC Press, 2017. – 271 p.
15. *Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies*, David Ian Wimpenny, Pulak M. Pandey, L. Jyothish Kumar, Springer, 2016. – 186 p.
16. Mandrycky c. Et al. 3D bioprinting for engineering complex tissues // *biotechnology advances*. – 2016. – т. 34. – №. 4. – с. 422-434.
17. Комісаров О.О. Матеріали для FDM-друку в Україні [Електронний ресурс] // О.О. Комісаров, Г.В. Пухальська / Тиждень науки-2023. Машинобудівний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 24-28 квітня 2023 р., НУЗП. – Запоріжжя, 2023. – С. 43-45 - 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM).- Електронне видання комбінованого використання на DVD-ROM.
18. Chryssolouris G. *Laser Machining: Theory and Practice (Mechanical Engineering Series)* / G. Chryssolouris . – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmbH, 2013.
19. Конспект лекцій з дисципліни «Формування структури і властивостей при лазерній поверхневій обробці» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання / Укл.: Косинська О.Л. – Кам'янське, ДДТУ, 2019 р., 47 с.

20. Лазерна поверхнева обробка матеріалів / Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.

21. Корж В. М. Газотермічна обробка матеріалів: Навчальний посібник. — К. : Екотехнологія, 2005. — 195 с. — ISBN 966-8409-07-

22. Лазерні технології у машинобудуванні: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л. І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 109 с.

23. Електронний ресурс: <https://monofilament.com.ua/ua/products/>

24. Електронний ресурс: <https://shop.plexiwire.com.ua/abs-plus-filament>

25. Електронний ресурс: <http://um.co.ua/9/9-5/9-58101.html>

26. Електронний ресурс: https://stud.com.ua/157941/tehnika/lazerne_rizannya

27. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Дослідження якості поверхні та точності розмірів після FDM друку» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. асист.Тумарченко Л.О., доц. Пухальська Г.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 15 с.

28. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Дослідження дисипативних властивостей та характеристик поверхневого шару наноструктурних покриттів пера лопаток компресора» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. доц. Пухальська Г.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 14 с.

29. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Ознайомлення з основними можливостями лазерного гравіювального верстата NEJE Master 2S» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. доц. Пухальська Г.В., лаб. Балюта Р.М. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 10 с.

4.2 Додаткова література

30. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А. Г. Григорьянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 664 с.

31. Введение в нанотехнологии: текст лекций для студентов инженерных специальностей дневной и заочной форм обучения / А.И. Грабченко, Л.И. Пупань, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. — 272 с.

32. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. — М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

33. Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие / А.А. Ляпков; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. — 114 с.

34. Коваленко В. С. Лазерная технология: учеб. — Киев : Вища шк., 1989.