



НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ "ВАСИЛ ЛЕВСКИ"

ФАКУЛТЕТ „ЛОГИСТИКА И ТЕХНОЛОГИИ“

майор инж. ас. Николай Цанков Иванов

**ИЗСЛЕДВАНЕ
НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА
УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА
ПОДВИЖНИТЕ РЕМОНТНИ
СРЕДСТВА ВЪВ ВЪОРЪЖЕНИТЕ
СИЛИ НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Област на висшето образование: 5. „Технически науки“

Професионално направление: 5.13. „Общо инженерство,

Научна специалност: „Колесни, верижни машини и логистика“

Научен ръководител: доцент д-р инж. Иван Николаев Миневски

ВЕЛИКО ТЪРНОВО

2024 г.

Дисертационния труд е обсъден и насрочен за защита от катедрен съвет на катедра „Управление на ресурси и технологии“ от НВУ „Васил Левски“ гр. Велико Търново, проведен на 21.03.2024 г.

Номерата на главите, точките и подточките, номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези от основния текст на дисертацията.

Докторантът работи във НВУ „Васил Левски“ и е зачислен в катедра „Управление на ресурси и технологии“ при Факултет „Логистика и технологии“ на НВУ „Васил Левски“ на самостоятелна подготовка. Изследванията са извършени в НВУ „Васил Левски“.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 29.05.2024 г. от 11:00 ч. в зала 2220 на НВУ „Васил Левски“.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в НВУ „Васил Левски“ гр. Велико Търново.

Автор: майор инж. Николай Цанков Иванов

Заглавие: **„Изследване на възможностите за усъвършенстване на подвижните ремонтни средства във Въоръжените сили на Република България“.**

Тираж: 5 бр.

Печатна база на НВУ „Васил Левски“

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Бързото и динамично развитие на машиностроителната промишленост на база развитието на технологиите и внедряването им във въоръжението и бойната техника създава условия за повишаване на бойната им ефективност. В същото време това динамично развитие води до възникването на редица проблеми от икономически, технически, производствено-технологични и чисто военен характер.

Решението на по-голяма част от проблемите е унифицирането на възли, агрегати, апаратури и системи. Цели на унификацията са:

- осигуряване на оптимална техническа, технологична и експлоатационна съвместимост;
- взаимозаменяемост на въоръжение и техника с еднотипна такава, използвана от въоръжените сили (ВС) на Република България (РБ) а също така и в рамките на Организацията на северноатлантическия договор (НАТО);
- подобряване условията за експлоатация, съхранение, обслужване и ремонт;
- създаване на условия за ползване на техника с гражданско предназначение за нуждите на Българската армия (БА);
- създаване на условия за внедряване на автоматизирани системи за управление.

Значението на ремонта и използването на подвижни ремонтни средства за решаването на тези проблеми:

За тази цел е необходимо да се извърши задълбочено анализиране и изследване на състоянието на съществуващата система от подвижни ремонтни средства (ПРС) и на практическата им съвместимост при провеждане на многонационални учения на територията на Република България и извън нея, както и при участие на контингенти от въоръжените сили на Република България в многонационални операции на и извън територията страната.

Актуалността на изследването се обуславя от потребността на формирования от Българската армия за придобиване и поддържане на определени способности вменени от Конституцията на Република България. Преструктурирането на въоръжените сили и модернизацията на въоръжението и техниката, в контекста на членството на Република България в НАТО, налага нови изисквания към способностите на системата за поддръжка и ремонт, в частност на подсистемата от ПРС. Участието на контингенти от Българската армия съвместно с коалиционни партньори и съюзници, в съвместни учения и операции под егидата

на НАТО, Европейския съюз и ООН, също налага придобиването и поддържането на нови способности.

Гореизложеното показва необходимостта от анализиране ефективността и качеството на образците техника, на въоръжение в БА, изграждащи системата от ПРС, както и определяне на възможности за усъвършенстването на тази система.

На тази база са определени:

Обект на изследването: Съществуващата системата от ПРС

Предмет: Ремонтните възможности на ПРС на въоръжение в БА.

Цел: На база анализа на възможностите на ПРС на въоръжение в БА и техните мисии и задачи, отчитайки също така организацията на полевите ремонти в страни членки на НАТО, да се изследват възможностите за усъвършенстване на системата от ПРС на въоръжение в БА, чрез прилагане на иновативни технологии.

За постигане на тази цел са поставени за решаване следните **задачи:**

1. Анализ на системите за техническо обслужване и ремонт на бронетанковата и автомобилната техника. Изследване на видовете ПРС, специализираното им оборудване, възможностите им за извършване на технически обслужвания и текущи ремонти;

2. Изследване и анализиране на възможностите за автоматизация на инженерното проектиране със съвременни CAD/CAM/CAE системи и използване на технологии за адитивно производство при поддръжка и ремонт на ВиТ в БА.

3. Сравнителен анализ на различните технологии за 3D принтиране;

4. Изследване и анализ на възможностите за подмяна на детайли, произведени чрез класически технологии с детайли, произведени чрез технология за адитивно производство.

Ограничения:

1. изследване организацията на ремонтно-възстановителната дейност, ремонтните органи и системата от ПРС от състава на Сухопътни войски от БА.

Методи:

1. Дескриптивно изследване на системата от ПРС.

2. Анкетно проучване.

3. Експериментални проучвания.

I. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Извършен е анализ на текущото състояние на системата от ПРС на въоръжение в Българската армия.
2. Извършен е анализ на възможностите за използване на технологиите за адитивно производство в БА.

II. ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Извършено е експертно проучване относно установяване ефективността на използване на ПРС.
2. Определени са механични характеристики на различни материали използвани за адитивно производство, посредством експериментално изследване.
3. Изследвана е възможността за производство на функционално съвместими детайли, необходими за възстановяване и ремонт на бойна техника, посредством адитивни технологии, чрез експериментално изследване.
4. Изработено и отпечатано на 3D принтер, зъбно колело от привода за насочване на въоръжението на бойна машина на пехотата БМП-1.

Дисертационния труд съдържа 130 страници (основният текст обхваща 105 страници, използване литература 5 страници и приложения 20 страници), включително 25 таблици (основния текст 1 в приложения 24) и 40 фигури (в основния текст 38 в приложения 2). Цитирани са 69 литературни и нормативни източника. По дисертацията са изготвени 2 бр. публикации.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА

Системи за техническо обслужване и ремонт.

- 1.1.Организиране на ремонтно-възстановителната дейност в българската армия.**
- 1.2.Анализ на системите за техническо обслужване и ремонт на бронетанковата и автомобилната техника, изследване на видовете ПРС, специализираното им оборудване, възможностите им за извършване на технически обслужвания и текущи ремонти.**
- 1.3.Обща характеристика и класификация на дефектите. Технологии на възстановяване на детайлите. Методи на възстановяване.**
- 1.4.Съвременни компютърно подпомагани технологии за дизайн и изработка на машинни елементи.**
- 1.5.Изводи към първа глава.**
 - 1.5.1. Съществуващата система за обслужване и ремонт на въоръжение и техника частично отговаря на нуждите на армията, тъй като БА е в процес на превъоръжаване.

Новите образци въоръжение и техника изискват различен, от съществуващия, подход за поддръжка и ремонт.
 - 1.5.2. Класическите методи и технологии, използвани за ремонт и възстановяване изправността на въоръжението и техниката са времеемки, трудоемки и енергоемки, и изискват използването на специализирани уреди и инструмент, които от своя страна изискват голям брой висококвалифициран персонал.
 - 1.5.3. Иновативни технологии, като адитивното производство, предлагат решения за бързо производство на стандартни и нестандартни детайли с относително малки капиталовложения.

ВТОРА ГЛАВА

Ефективност на използване на ПРС.

2.1. Проучване ефективността на използване на ПРС на въоръжение във Въоръжените сили.

За нуждите на дисертационния труд и за решаването на първа задача бе извършено експертно проучване относно ефективността и честотата на използване на ПРС в полеви и стационарни условия. За тази цел се изготви анкетна карта Приложение № 2.1. Изследвани бяха специфичните дейности, които могат да бъдат извършвани с най-разпространените видове ПРС, както и специализираното оборудване в тях. В проучването бяха включени следните ПРС: МТО-АТ, МТО-БТ, МРС-АТ, МРС-БТ, МТО-80, МРС-80 и МРМ. Оценката е образувана по петобална система за честота на извършваните операции и използването на специализираното оборудване, както следва:

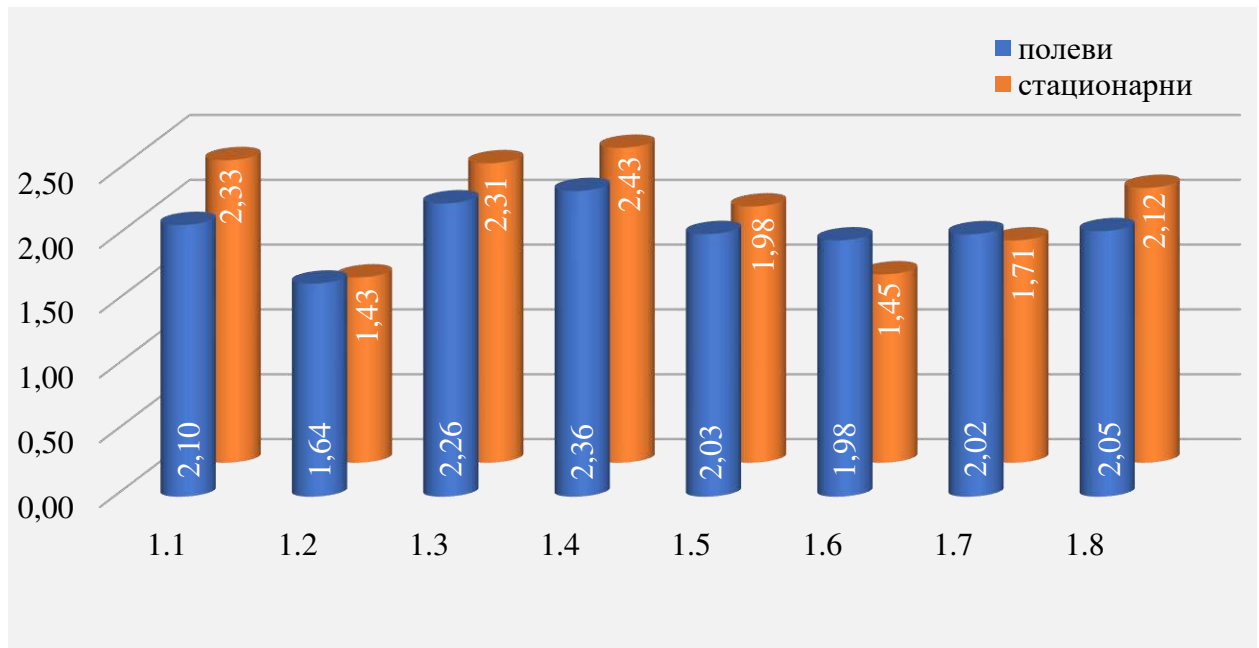
1. никога
2. рядко: 1 до 4 пъти в годината
3. често: 1 до 4 пъти в месеца
4. много често: 1 до 4 пъти в седмицата
5. ежедневно

Проучването бе извършено в няколко формирования от състава на Сухопътни войски, като за целта бяха избрани ремонтни формирования на ниво взвод, рота и батальон. Хората, попълнили анкетната карта са назначени на длъжности като специалисти по ремонт. Общия брой на попълнените анкети е 80.

Получените резултати са представени в графичен вид на два подраздела за всяко от изследваните ПРС. Всяка графика отразява дадените отговори за стационарни и полеви условия.

2.1.3. МРС-АТ

2.1.3.1.Операции извършвани с МРС-АТ



Фиг. 2.5. Операции извършвани с МРС-АТ в полеви и стационарни условия

На фигура 2.5. са показани резултатите от честотата на извършваните с МРС-АТ специфични операции:

- 1.1. Демонтажно-монтажни работи;
- 1.2. Заваръчни работи;
- 1.3. Контролно-регулировъчни;
- 1.4. Диагностични работи;
- 1.5. Товароподемни работи;
- 1.6. Пълно развърщане на работилницата;
- 1.7. Частично развърщане на работилницата;
- 1.8. Дребни специални (бояджийски, тапицерски, дърводелски, тенекеджийски, зареждащо-смазочни, електротехнически).

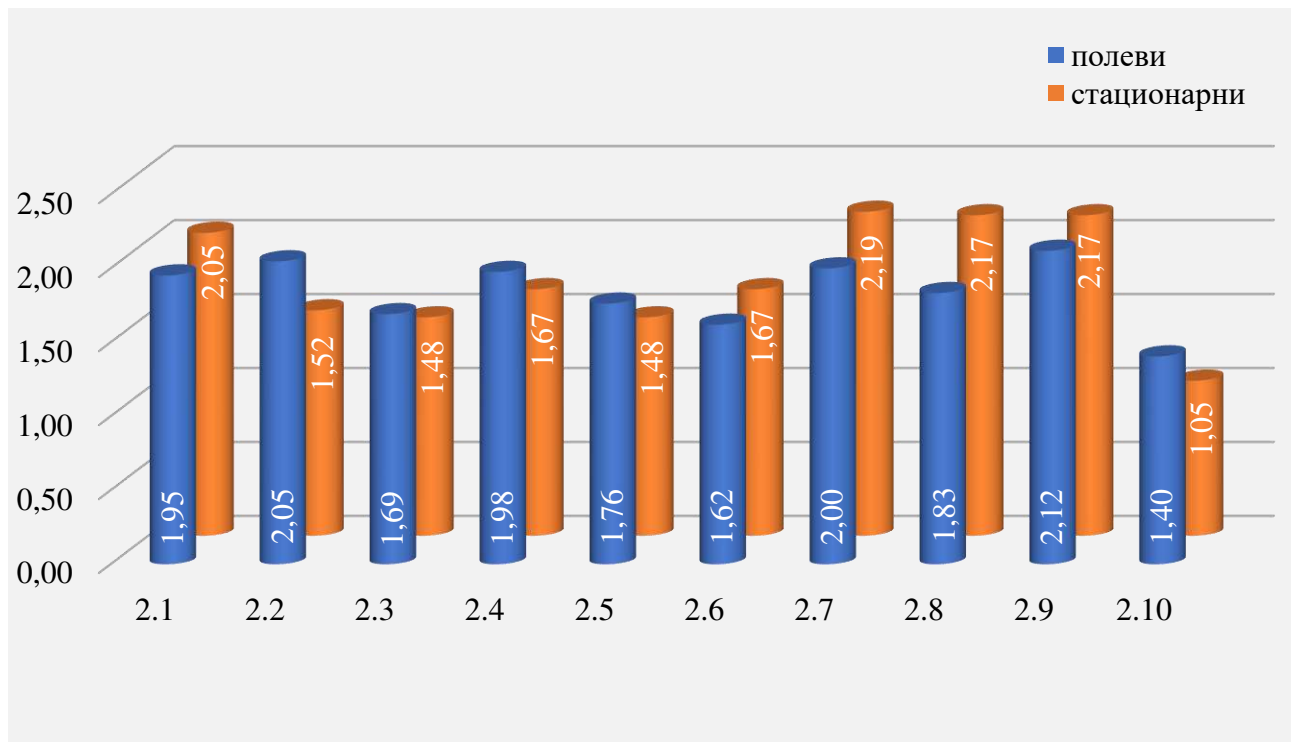
Резултатите са получени на база отговорите на 43 военнослужещи заемащи следните длъжности:

- ЗКВ на взвод за ремонт на АТТ;
- механик-регулировчик;
- КО на отделени за ремонт на АТТ;
- КО на отделени за ремонт на БТТ;
- младши техник по ремонт на АТТ;
- техник по ремонт на АТТ;

От дейностите, които могат да бъдат извършвани с МРС-АТ, най-често извършваните в полеви условия, въпреки посочената честота – от 1 до 4 пъти в годината, са:

- Демонтажно-монтажни работи;
- Контролно-регулировъчни;
- Диагностични работи;
- Товароподемни работи;
- Дребни специални.

2.1.3.2. Използвани инструменти, принадлежности и оборудване на МРС-АТ



Фиг. 2.6. Честотата на използваните инструменти, принадлежности и оборудване на МРС-АТ

На фигура 2.6. са показани резултатите от честотата на използваните инструменти, принадлежности и оборудване на МРС-АТ:

2.1. Оборудване подемно; 2.2. Кабелна мрежа; 2.3. Преса хидравлична; 2.4. Прибор за проверка на ел. оборудването на автомобила; 2.5. Бензинов електроагрегат; 2.6. Ел. гайковерт; 2.7. Ел. бормашина ръчна; 2.8. Ел. шмиргел; 2.9. Крик хидравличен; 2.10. Ацетиленов генератор.

От използваните в полеви условия инструменти, принадлежности и оборудване на МРС-АТ, най-често използвани, въпреки посочената честота – от 1 до 4 пъти в годината, са:

- Крик хидравличен;

- Кабелна мрежа;
- Ел. бормашина ръчна.

2.2.Обобщение на данните от анкетата.

Използван е методът на Пийрсън (линейна корелация) за определяне на корелационният коефициент r . Формулата за изчисляване на r е:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.1.)$$

където:

- n е броят на наблюденията в данните,
- x_i и y_i са съответно i -тите стойности на променливите X и Y ,
- \bar{x} и \bar{y} са средните стойности на X и Y съответно.

След обработката на данните от анкетите се обобщиха следните резултати:

- Брой анкети по вид на ПРС

Вид ПРС	бр.
МТО-АТ	8
МТО-БТ	6
МРС-АТ	43
МРС-БТ	32
МТО-80	3
МРС-80	2
МРМ	1

От получения резултат е видно, че за работилниците МРС-АТ и МРС-БТ са дадени най-много отговори. Следователно обективността на получените резултати за тези две работилници ще е най-голяма.

- Брой анкетираны по длъжност

Длъжност	бр.
заместник-командир на взвод за ремонт на БТТ	1
механик-регулировчик	4
командир на отделение за ремонт на БТТ	9
техник по ремонт на БТТ	9
младши техник по ремонт на БТТ	11
заместник-командир на взвод за ремонт на АТТ	4
командир на отделение за ремонт на АТТ	8

техник по ремонт на АТ	19
младши техник по ремонт на АТ	15

Чрез извършване на корелационен анализ ще бъде изследвано наличието на зависимост между длъжността и дадените отговори.

- Вид на войсковата единица, в която служат анкетираните

Вид на войсковата единица	бр.
Механизиран батальон	17
Танков батальон	10
Батальон за логистично осигуряване	19
Ремонтен батальон	34

Чрез вида на войсковата единица се характеризира вида на експлоатираната и ремонтирана техника. Дали е тежко или леко бронирана, дали е верижна или колесна.

- Ниво на войсковата единица, в която служат анкетираните

Ниво на войсковата единица	бр.
Ремонтна рота/ремонтен взвод	53
Логистична рота/ремонтен взвод	27

Чрез нивото на войсковата единица се разграничават ремонтните органи по това какви ремонти могат да извършват, тяхната сложност и продължителност.

Отчитайки факта, че през последните 20 години броят на ученията и полевите занятия извън пунктовете за постоянна дислокация на формированията бе значително намален, както и стажът на попълнителите анкетната бланка, може да се направи извода, че получените резултати са обективни. Ако бъде увеличен броят на полевите учения и занятия, ще се увеличи пропорционално и честотата на използване на ПРС.

Този извод, е на основа извършен корелационен анализ на посочените отговори спрямо стаж и длъжност на анкетираните. От получените резултати е видно, че няма зависимост между честотата на извършваните операции, използваните инструменти и принадлежности от стажа и длъжността на анкетираните.

2.3.Изводи към втора глава

- 2.3.1. Данните от извършеното проучване показват, че не се използва максималния капацитет на ПРС. Рядко се използват оборудваните в тях инструменти и принадлежности.
- 2.3.2. Корелационния анализ показва липсата на зависимост между стажа и длъжността на анкетираните и посочените от тях отговори. С други думи рядкото извършване на операции или използване на оборудване

не се дължи на липсата на опит. Причина за това могат да бъдат от една страна липсата на резервни части, а от друга малкия брой полеви занятия, с участието на техника и личен състав.

2.3.3. Основна причина за непълноценното използване на ПРС е силно ограничения брой на полеви занятия и учения в БА.

ТРЕТА ГЛАВА

Възможности за модернизиране на ПРС.

3.1. Технологии за адитивно производство.

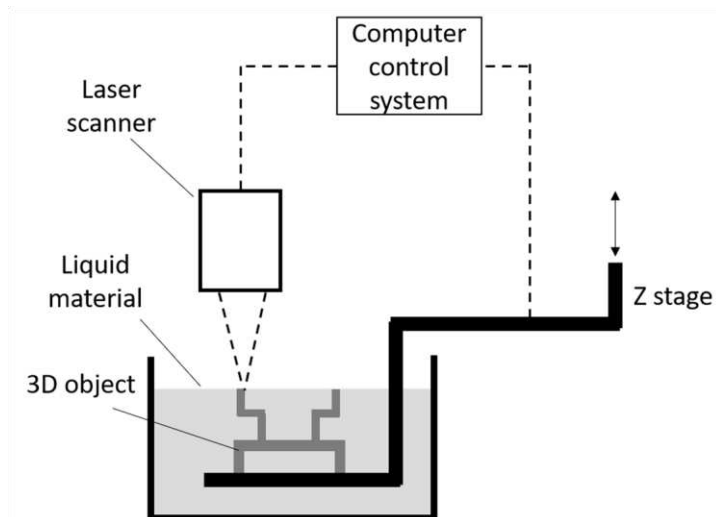
3D печат или наричано още адитивното производство - Additive manufacturing (AM) е конструирането на триизмерен обект от CAD модел или цифров 3D модел. Може да се извърши чрез различни процеси, при които материалът се отлага, свързва или втвърдява под компютърен контрол. Материалът (като пластмаси, течности или прахообразни зърна, които се сливат) се добавя обикновено слой по слой.

Характерно за всички 3D принтери е, че изграждат обекти с добавяне на материал, което е противоположен процес на принципа на работа на машините с цифрово-програмно управление (CNC), където обектите се получават след отнемане на материал.

Към настоящия момент най-разпространените технологии за адитивно производство са Стереолитография - Stereolithography (SLA), Селективно лазерно синтероване - Selective laser sintering (SLS) и Моделиране чрез разтопено отлагане - Fused deposition modelling (FDM).

3.1.1. Стереолитография (SLA)

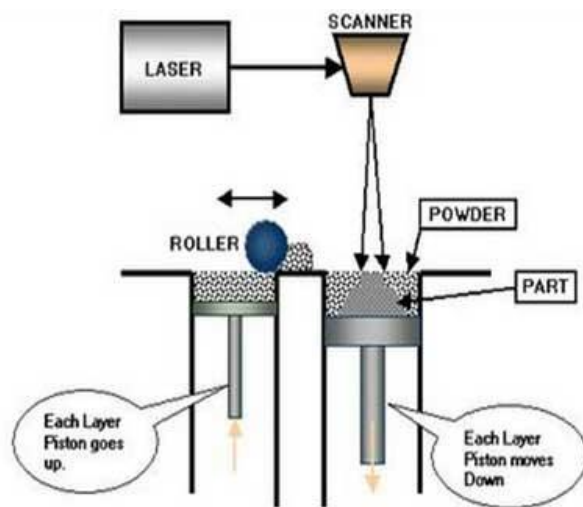
Стереолитографията (SLA или SL), фигура 3.1., известна още като фото-полимеризация във ваната е форма на технология за 3D печат. Използвана се за създаване на модели, прототипи, копия и производствени части слой по слой. Технологията използва фотохимични процеси, чрез които светлината кара химични мономери и олигомери да се свързват заедно, за да образуват полимери. След което тези полимери изграждат триизмерно твърдо тяло. Стереолитографията може да се използва за създаване на прототипи за продукти в разработка, медицински модели и компютърен хардуер, както и в много други приложения.



Фиг. 3.1. 3D Моделиране чрез стереолитография.

3.1.2. Селективно лазерно синтероване (SLS)

Селективното лазерно синтероване (SLS), фигура 3.2., е техника за адитивно производство (AM). Технологиата използва лазер като източник на енергия и топлина за синтероване на прахообразен материал (обикновено найлони или полиамиди). Насочвайки лазера автоматично към точки в пространството, определени от 3D модела, енергията разтапя повърхностния слой на материала, като го обвързва заедно, за да създадете солидна структура. Подобно е на селективното лазерно топене (Selective laser melting – SLM). Двете са инстанции на една и съща концепция, но се различават по технически детайли. SLS (както и другите споменати AM техники) е сравнително нова технология, която досега се използва главно за бързо създаване на прототипи и за производство на компоненти в малък обем. Производствените възможности се разширяват с подобряването на комерсиализацията на AM технологията.

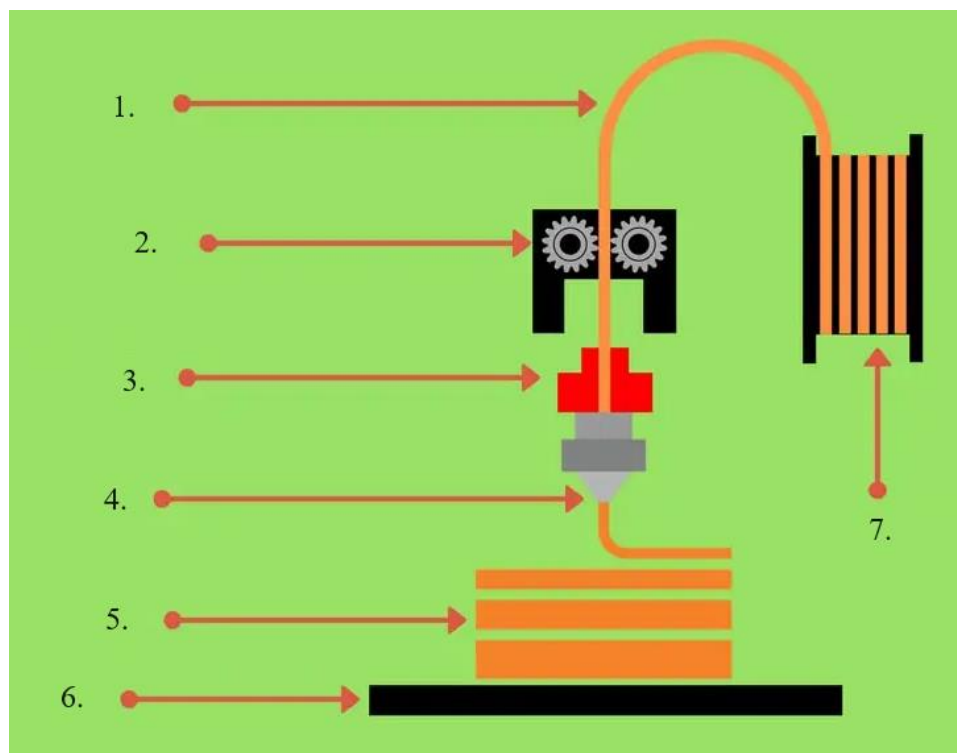


Фиг. 3.2. 3D Моделиране чрез лазерно синтероване

3.1.3. Моделиране чрез разтопено отлагане (FDM), наричано още производство чрез разтапяне на нишки (Fused Filament Fabrication – FFF).

Моделиране чрез разтопено отлагане (със запазения акроним FDM), производството чрез разтапяне на нишки (FFF) известно още като производство на нишки със свободна форма, е процес на 3D печат, който използва непрекъснатата нишка от термопластичен материал наречен филамент. Филаментът се подава от голяма макара през движеща се, нагрятa екструдерна глава на принтера и се отлага слой по слой. Обикновено главата се движи в две измерения, за да отложи в една хоризонтална равнина, или един слой, след което модела или печатащата глава се премества вертикално, за да започне нов слой. Скоростта на главата на екструдера се контролира, кога да спре и да започне отлагането, за да образува прекъсната равнина без получаване на изтегляния на нишки (stringing) или капене (dribbling). Терминът „Производство чрез разтапяне на нишки“ е измислен от членовете на проекта RepRap, за да даде акроним (FFF), който е правно неограничен при използването му.

Екструдерите за принтери, използващи тази технология, имат студен край и горещ край. Студеният край издърпва материала от макара, като използва въртящ момент на зъбно колело или ролка, и контролира скоростта на подаване на филамента с помощта на стъпков двигател. Студеният край избутва филамента към горещия край. Горещият край се състои от нагревателна камера и дюза. В нагревателната камера се разтопява филамента, за да се превърне в течност. Това позволява на разтопения материал да излезе през малката дюза за образуване на тънка, лепкава втечнена нишка от пластмаса, която да се прихване към леглото или материала, който вече е отложен. Дюзата обикновено е с диаметър между 0,3 и 1,0 mm. Използват се различни видове дюзи и методи на нагряване в зависимост от материала, с който ще се печата. На фигура 3.3. е представена изобразителна схема на машина работеща по технологията.



Фиг. 3.3. FDM/FFF технология

1. Нишка филамент, подавана към екструдера.
2. Зъбни колела, контролиращи подаването и издърпването на филамента.
3. Нагревател, който разтапя филамента.
4. Дюза нанасяща материал.
5. Наслоен материал.
6. Печатно легло.
7. Ролка с филамент.

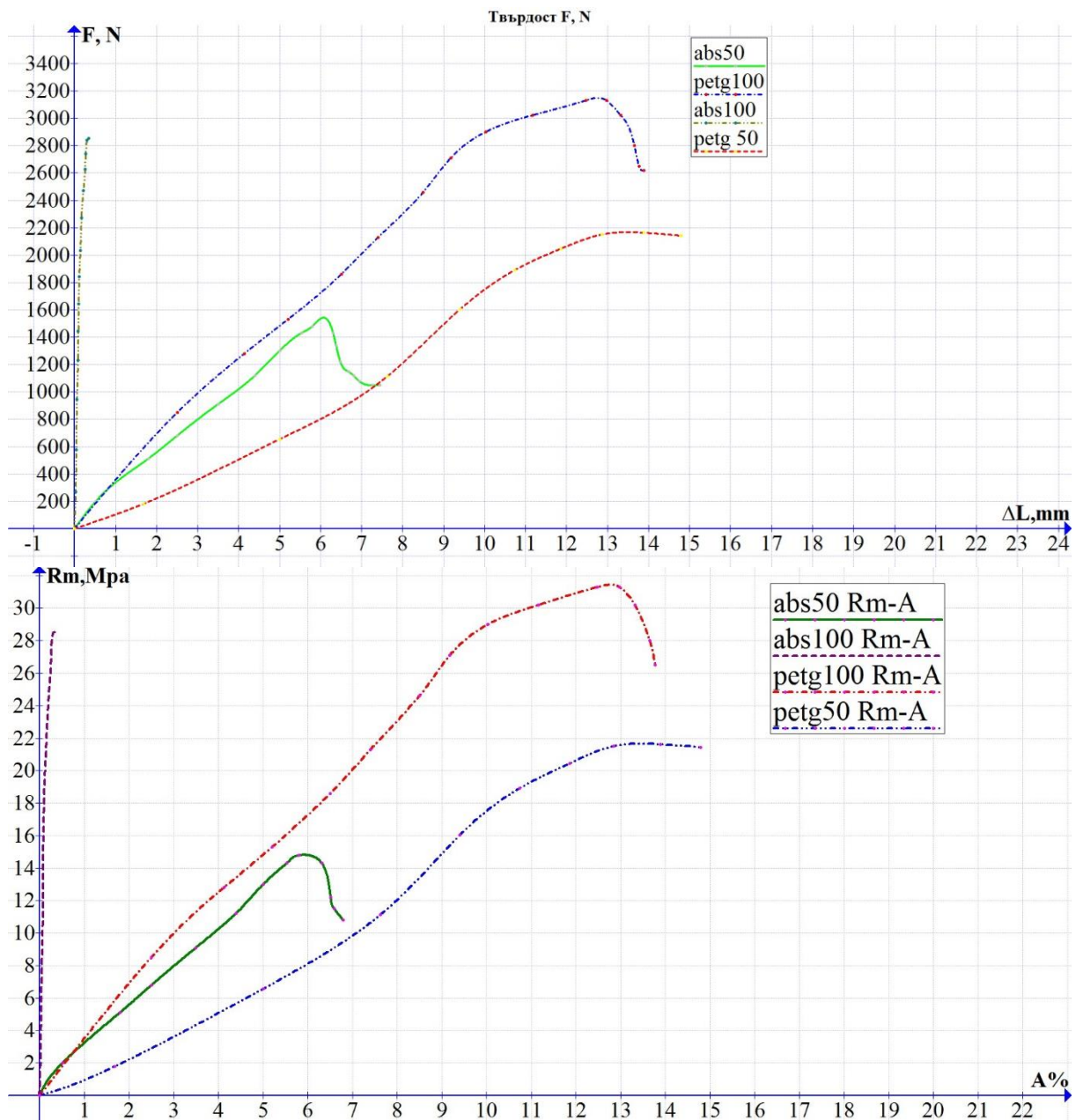
3.2.Изготвяне на детайл чрез система за адитивно производство.

- 3.2.1. Изследване на материали използвани в FDM технологията за адитивно производство и избор на материал за изработка на детайл.

За нуждите на дисертационното проучване и за изпълнение на трета задача, за изследване бе избран модел на еволвентно зъбно колело с външни прави зъби.

За нуждите на проучването бяха избрани филаментите ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол), PETG (полиетилен терефталат гликол) и PA CF (полиамид с въглеродни влакна).

От избраните материали се изработиха пробни тела с правоъгълно сечение на работната част. От всеки материал се отпечатаха по две с плътност от 50% и от 100% на запълване. Същите бяха подложени на изпитване на опън.



Фиг. 3.9. Графичен изглед на резултатите от изпитване на опън на проби от ABS и PETG

От получените резултати е видно, че филamentът PETG има по добри якостни характеристики от филamentът ABS. Друго видно от графиката е, че усилието в границата на провлачване при филamentът PETG е малко по-ниско от усилието в границата на разрушаване при филamentът ABS. От това може да се заключи, че при филamentът ABS еластичността е много малка, а при филamentът PETG ще настъпят необратими изменения в геометрията на детайла без да се разруши при приблизително еднакви усилия.

С оглед на това, че производителя е избрал задвижваното зъбно колело, от механизма за завъртане на куполата на БМП-1, да изпълнява и роля на

„предпазител“, за материал, от който да бъде изработен детайла, бе избран филаментът ABS.

3.2.2. Идентификация на геометричните параметри и създаване на модел в средата на CAD модул „SolidWorks”.

3.2.2.1. Идентификация основните геометрични размери на зъбно колело от привода за насочване на въоръжението на БМП-1.

Използвани бяха резервни зъбни колела, взети от формирание от състава на сухопътни войски. На фигура 3.4. са показани моделите, използвани за идентификация на геометричните размери.



Фиг. 3.10. Задвижвано зъбно колело от механизма за завъртане на куполата на БМП-1П

В методиката за идентификация размерите на зъбното колело са използвани следните основни геометричните зависимости:

- модул – m ;
- делителна окръжност – d ;
- Ъгъл на профила на изходния контур – $\alpha = 20^\circ$
- Разстоянието между едноименни профили на два съседни зъба, измерено по дъга на делителната окръжност, се нарича “стъпка” на зъбното колело – p ;
- Стъпка на зацепване – p_b ;
- брой на зъбите – z ;
- обща нормала – W_k (където k е броя на обхванатите зъби);
- коефициент на височинна модификация на профила на зъба – x ;

За идентификация на размерите бях използвани следните геометрични зависимости:

- стъпката на зацепване p_b :

- чрез използване на модула на зъбното колело m по формулата:

$$p_b = \pi m \cos \alpha \quad (3.1.)$$

В това уравнение стъпката и модульът не са известни. Този метод ще бъде използван за последваща проверка!

- Определяне на стъпката на зацепване от обща нормала W по формулата:

$$p_b = W_k - W_{k-1} \quad (3.2.)$$

където W_k е разстоянието между k на брой зъби, измерено по делителната окръжност, W_{k-1} е разстоянието между $k-1$ на брой зъби.

- измерено - $W_k = 24,461 \text{ mm}$
- измерено - $W_{k-1} = 14,944 \text{ mm}$

От където получаваме за стъпката на зацепване:

$$p_b = W_k - W_{k-1} = 24,461 - 14,944 = 9,517 \text{ mm}$$

- След определяне на стъпката се определя модула на зъбното колело по формулата:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha \quad (3.3.)$$

От формула 3.3. получаваме:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha = 9,571 / 3,14 \cos 20^\circ = 3,24$$

След проверка в стандартите за модули на зъбни колела, най-близкият е $3,25 \text{ mm}$. Приема се, че модульът на зъбното колело е $m = 3,25$



- Определяне на делителната окръжност d чрез модула на зъбното колело по формулата:

$$d = z m \quad (3.4.)$$

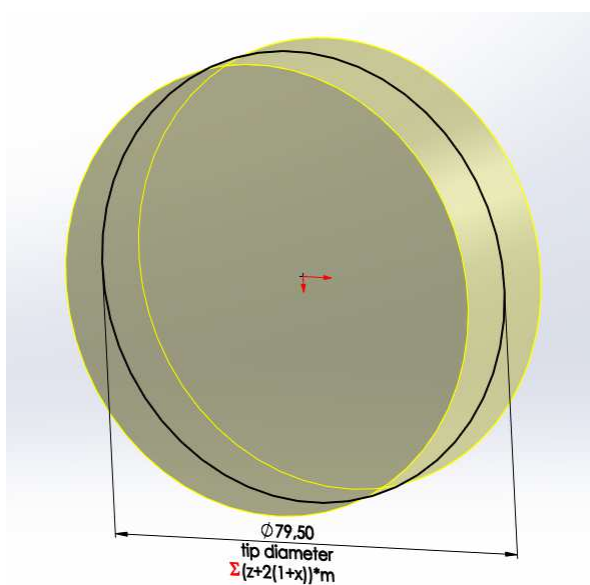
Пълната последователност в изчисленията на основните геометрични размери не е основна цел на изследването. Затова не е необходимо цялостното изписване.

3.2.2.2. Създаване на модел в средата на CAD модула „SolidWorks”.


Методиката, по която се изработиха зъбните колела бе следната:

- Създава се нов *SolidWorks* документ от вида „Part“  ;
- Използва се модула „Equation“ за въвеждане на основните зависимости модул, брой зъби, ъгъл на профила на изходния контур и коефициент на корекция на профила на зъба;
- В средата за работа „Sketch“  се избира равнина, в която се скицира основният контур и се оразмерява – върховата окръжност (*tip diameter*) на зъбното колело фигура 3.11., определена по формулата:

$$d_a = [z + 2(x + 1)] m \quad (3.5.)$$

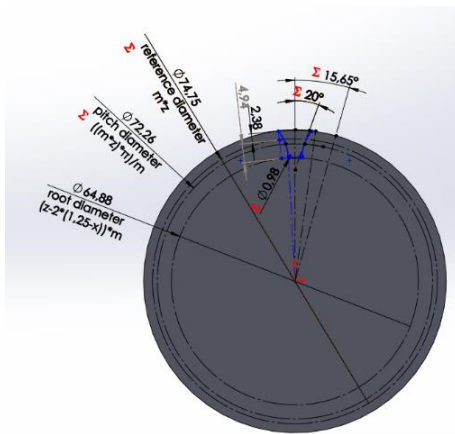


Фиг. 3.11. Върхова окръжност

- В средата за работа *Futures* чрез бутона *Extrude*  се изтегля скицата до желаната широчината детайла;
- Отново в средата за работа „Sketch“ се избира равнина, в която, с помощта на инструментите за скициране, се скицират останалите основни геометрии на зъбното колело и контура на зъбния профил фигура 3.12

За определянето на основните геометрии на профила на зъба са използвани формулите 3.6., 3.7. и 3.8., както следва:

$$d = m z \quad (3.6.)$$




- делителна окръжност – d
reference diameter
- основна окръжност – d_b
pitch diameter
- петова окръжност – d_f
root diameter

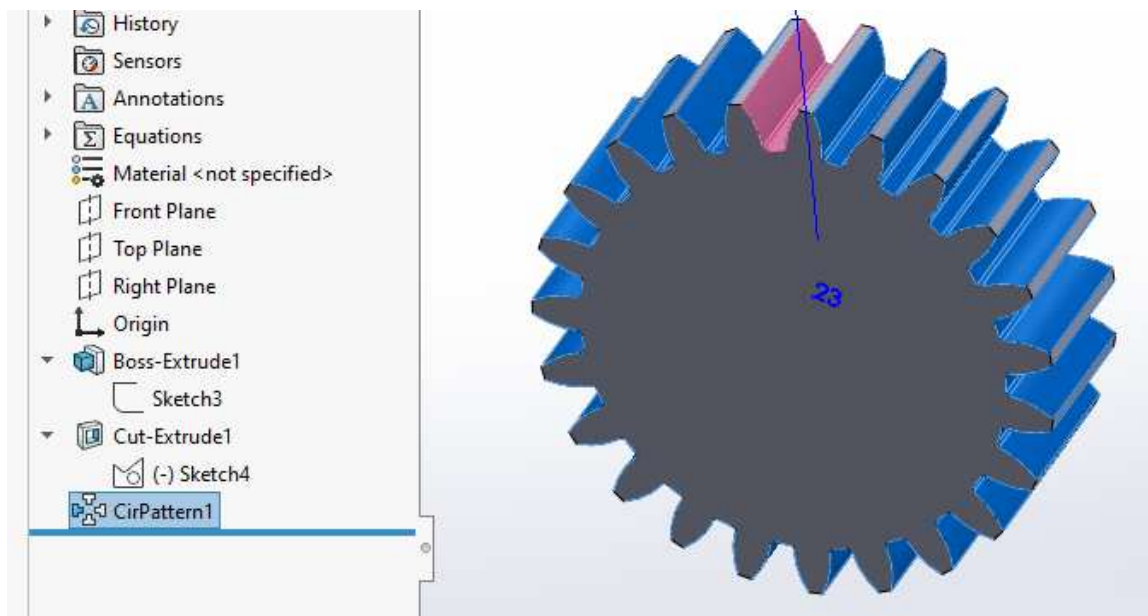
Фиг. 3.12. Оформяне междузъбието на два съседни зъба

$$d_b = (d \pi) / m \quad (3.7.)$$

$$d_f = [z - 2 (1,25 - x)] m \quad (3.8.)$$

– В средата за работа *Futures*, чрез бутона  **Circular Pattern** се размножава изрязването на зъбния профил до получаването на 23 зъба – фиг. 3.13.; След изработването на зъбното колело се оформиха две зъбни колела, които са с различни способности на закрепване. Чертежи на зъбните колела са показани в Приложение 3.1. и Приложение 3.2.

След окончателното оформяне на модела същият се записва като файл с разширение на файла *.PRT; *.SLDPRT за да може да бъдат правени корекции, ако е необходимо. Следва втори запис на файла, като разширението в което се записва е *.STL. Това е необходимо за модула, с който модела ще бъде подготвен за печат.



Фиг. 3.13. Размножаване изрязването на зъбния профил

Генерирани бяха файловете:

- EqD 1st SG m3.25 z23 с разширения *.SLDPRT и *.STL;
- EqD 2nd SG m3.25 z23 с разширения *.SLDPRT и *.STL.

С това процеса по създаване на 3D модел бе завършен.

3.2.3. Изработване на модел, създаден в средата на CAD модул „SolidWorks”.

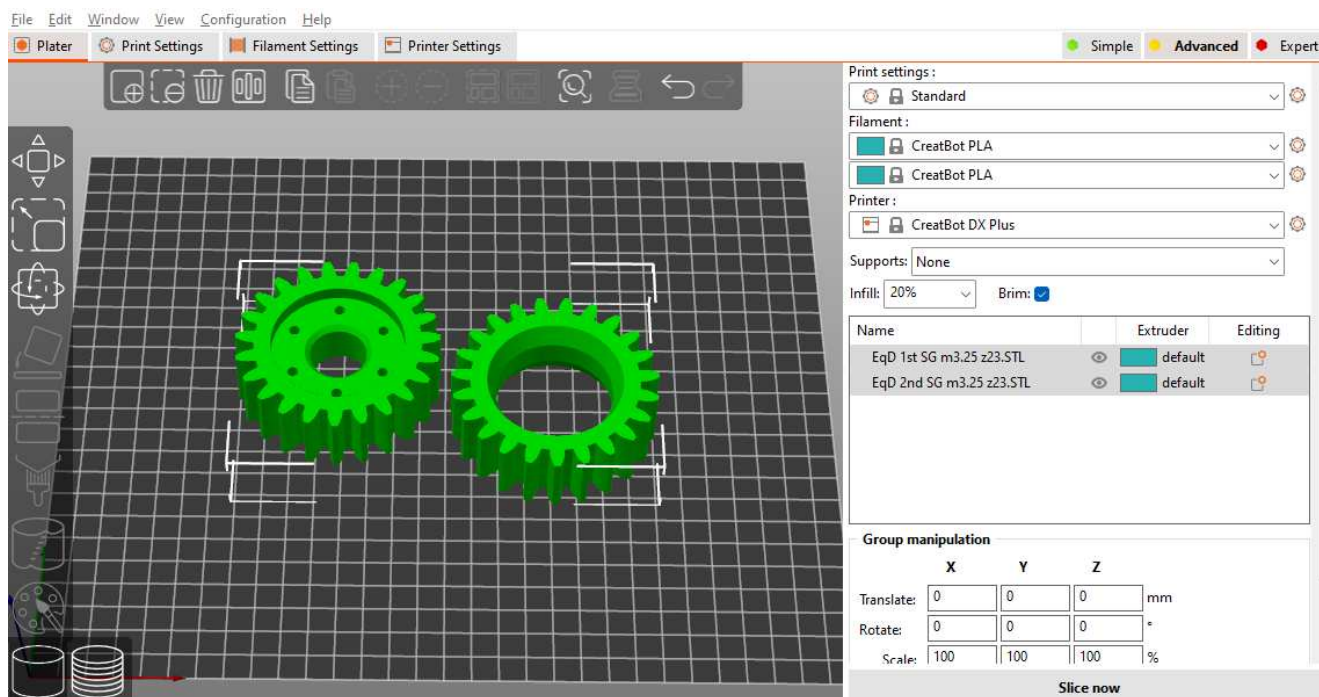
Всеки производител на 3D принтери използва конкретен модул, за подготовка на 3D модели, за печат. Примери за такъв софтуер са:

- Cura, от производителя на 3D принтери UltiMaker;
- Simplify3D – специализиран софтуер за цялостния процес от изграждане до отпечатване;
- PrusaSlicer, от производителя на 3D принтери Prusa3D;
- CrealitySlicer, от производителя на 3D принтери Creality;
- CreatWare, от производителя на 3D принтери CreatBot.

Принтерът, използван за отпечатване на изготвените модели на зъбно колело е CreatBot DX plus, произведен от CreatBot. Използваният софтуер за подготовка на модела за печат е CreatWare V6.2.1.

Подготовката се извърши в следната последователност:

- Стартира се софтуерът и се избира файла/файловете, които да бъдат подготвени за печат фигура 3.14.;



Фиг. 3.14. Подготовка на 3D модела за печат

– Софтуерът разполага с падащи прозорци с менюта, от които се определят различни настройки на печат:

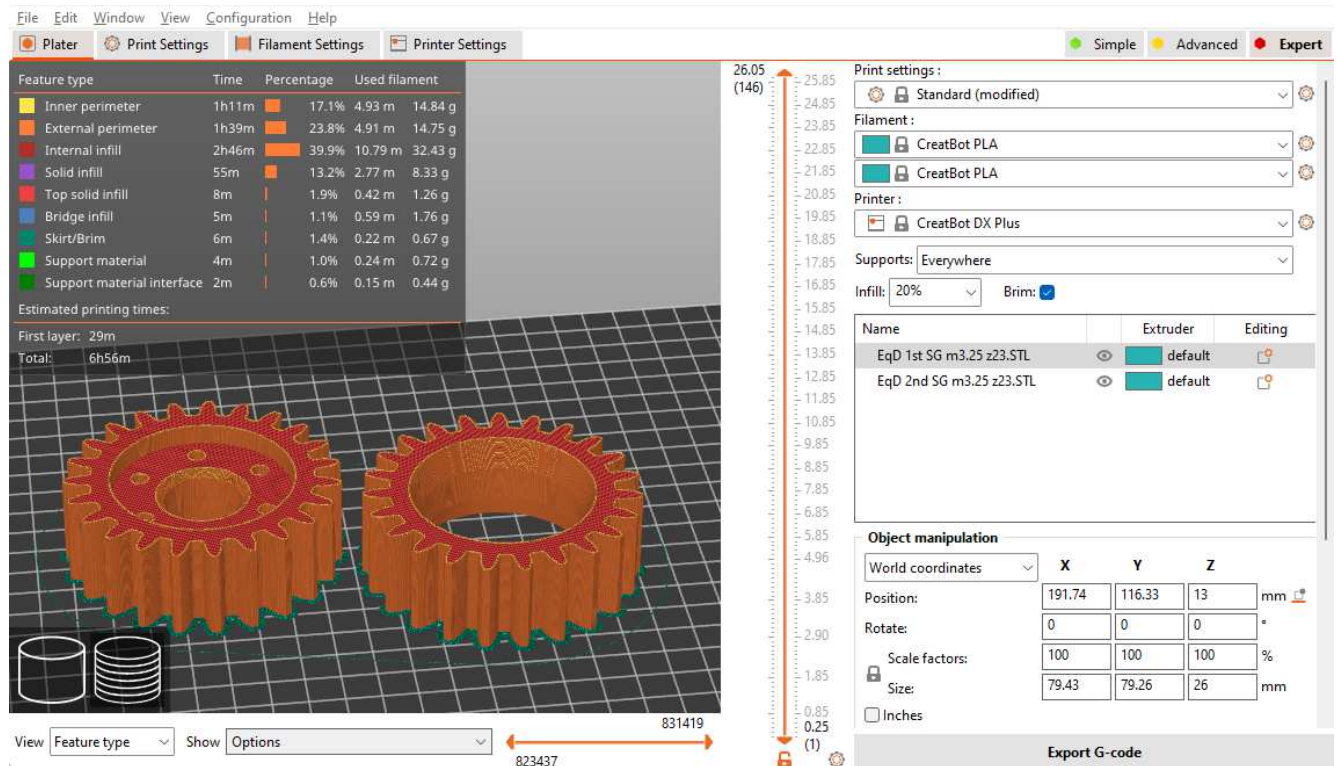
- Избор на качество на печат;
- Избор на материал, от който ще се отпечата детайла;
- Софтуерът предлага възможност за промяна на настройките, в зависимост от желанието на потребителя. Такива са: височина на слоя; скорост на печат; дебелина на стената на детайла (брой описвания на външните контури на детайла); запълване на детайла в проценти; форма на вътрешната структура; изграждане на поддържаща структура, нейната форма и плътност; изграждане на подложка за свързване с леглото за печат, форма и плътност на подложката; и др.

– След избора на качество, вида на филамента и задаване на желани допълнителни настройки, се натиска бутона „*slice*“. С тази команда, програмата нарязва детайла на слоеве, в зависимост от избраната му височина, определя „пътя“ на движение на екструзионната глава, моментите в които ще започва и спира екструзията на филамент. Т.е. програмата създава всички команди, които ще управляват принтера за цялостния процес на отпечатване на детайла. Със завършването на процеса на подготовка на детайла за печат се генерира файл с разширение *GCODE фигура 3.15.

След извършване на подготовката на модела за печат, софтуерът предлага визуализация на цялостния процес на печат. Визуализацията позволява преглед на всеки един слой, както и „пътя“ по който ще бъде отложен. Тази възможност е

значителен плюс, защото могат да бъдат видени недостатъци в подготовката на модела и тяхното отстраняване.

Веднъж генериран файлът не може да бъде изменен. При необходимост от промяна на настройките за печат се повтаря процеса по подготовка на модела с избор на желаните настройки.



Фиг. 3.15. Преглед на процеса на печат и експорт на файла с команди

3.2.5. Експериментално изследване функционалната съвместимост на детайл, изработен чрез система за адитивно производство.

За целите на дисертационния труд се извърши проверка функционалната съвместимост на детайла, изработен в система за адитивно производство. Сформирана бе работна комисия с цел установяване дали изработения детайл е съвместим.

За извършената от комисията работа се състави протокол приложение № 3.3. към дисертационния труд.

Дейности извършени от комисията:

- демонтиране на зъбното колело от привода за хоризонтално насочване на въръжението на БМП-1. Демонтираното зъбно колело е изработено от текстолит фигура 3.16.;



Фиг. 3.16. Визуален оглед на зъбните колела

– визуален оглед и сравняване на демонтираното зъбно колело със зъбното колело, изработено чрез отпечатване на 3D принтер фигура 3.17.;



Фиг. 3.17. Визуален оглед на зъбните колела

– извърши се монтаж на изработеното, чрез отпечатване на 3D принтер, зъбно колело към привода за насочване фигура 3.18.;



Фиг. 3.18. монтиране на изработено от ABS зъбно колело

- проверка функционирането на монтираното зъбно колело чрез завъртане на куполата с използване на ръчния привод за насочване;
- демонтаж и последващ монтаж на оригиналното зъбно колело.

Поради организационни затруднения не се извърши проверка на функционирането чрез електропривода за насочване. Предоставената за експеримента машина не бе оборудвана с акумулаторни батерии.

В резултат на извършената проверка бяха констатирани следните факти:

- при извършване на визуалния оглед се установи разлика в размера на челата на зъбите, на зъбното колело свалено от машината, и тези на отпечатаното на 3D принтер. Заключение е, че разликата се дължи на изтъняване в челата на зъбите вследствие на износване от работа. Разлика в другите размери не бе установена;
- извършен бе монтаж на отпечатаното зъбно колело и проверка функционирането му чрез използване на ръчния привод за насочване и завъртане на куполата на 90° по хоризонтала;

3.3. Възможности за усъвършенстване и модернизиране на ПРС чрез внедряване на система за адитивно производство.

Значението на думата „модернизация“ е: нововъведение, усъвършенстване, подобряване за да отговаря на съвременни изисквания и норми!

Възможностите за модернизация на едно ПРС, според значението на думата, са много. Ако разгледаме по широк кръг от аспекти, в които може да бъде направена модернизация, то тези възможности са много. Ако под модернизация се има предвид „подобряване“ то това може да значи модернизиране на фургона, в който са поместени оборудване и принадлежности, чрез подмяна с произведен по съвременни технологии, т.е. подобряване условията за работа на екипажа. Може да се подменят специализираното оборудване и апарати със съвременни такива, и много други.

Разглеждайки значението „нововъведение“ то това означава внедряване на нещо ново. Ново, като оборудване, или ново, като технология.

Възможно ли е внедряване на система за АМ в подвижна работилница?

Отговорът на този въпрос се крие в особеностите както на системата, така и на конкретното ПРС. Т.е. необходимо е да се преразгледат както разновидностите на технологиите за АМ и специфичните изисквания на всяка една от тях, така също и спецификите и предназначението на различните видове ПРС.

Разположението на оборудването и в двете работилници показва, че има необходимото пространство за внедряване на система за АМ. При необходимост могат да бъдат направени размествания в оборудването за да се осигури повече пространство ако внедряваната система е с по-големи габарити.

Всички работилници разполагат с до три източника на електрозахранване, един собствен – бензинов електроагрегат и два външни – дизелов агрегат и възможност за привързване към електропреносна мрежа.

Разгледаната иновативна технология за адитивно производство, нейните възможности и нейното приложение показват, че в едно ПРС е възможно да бъде интегрирана такава система.

3.4. Изводи към трета глава

3.4.1. Безспорен факт е, че технологиите за адитивно производство намират все по широко приложение в машиностроенето, медицината, строителството, военната промишленост и др. От опита на чуждите армии е видно, че основните направления за прилагане на АМ технологиите във военната сфера са производството на резервни части

за ремонт на въоръжение и техниката, и изграждането на сгради в полеви условия.

- 3.4.2. Извършването на ремонти, както в бойни условия така и в мирно време изисква своевременно снабдяване с резервни части. Използването на 3D принтери за изработка на такива части в случай на спешна нужда, ще спести ценно време, загубено по логистичната верига за снабдяване и провеждане на обществени поръчки. Спецификата в конструкцията на военната техника не позволява набавянето на резервни части от свободния пазар, а себестойността на единично произведени такива в заводски условия е по-висока от тази на отпечатаните с 3D принтер. Това би довело до увеличаване на ефективността и ефикасността на извършваните ремонти и намаляване на разходите за доставка и съхранение в склад.
- 3.4.3. Съществува широка гама от материали, които могат да се използват в AM технологиите. За FDM принтерите, чрез подходящи изследвания могат да бъдат подбрани материали с подходящи механични характеристики за изработване на различни елементи и детайли.
- 3.4.4. Използването на 3D принтери във военната област позволява да се обхване целия спектър от операции на въоръжените сили, от бойна среда до хуманитарна помощ и оказване на помощ при бедствия и аварии. С това могат да бъдат понижени на разходите поддръжка и ремонт на техниката от една страна, а от друга до повишаване на способностите на Българската армия.

ОБЩИ ИЗВОДИ

1. Ефективността на използване на ПРС е значително намалена. Факторите, оказващи влияние върху нея са много. Най-голямо влияние оказват липсата на резервни части, малкия брой полеви занятия и учения, и остарялото оборудване в тях.

Системата за обслужване и ремонт на въоръжението и техниката частично отговаря на нуждите на армията. Въвеждането на нови образци въоръжение и техника налага нови изисквания към ПРС.

2. Ремонтите в полеви условия налагат изискване за поддържане на значителни количества запаси от резервни част. Липсата на такива много често налага търсенето на възможности за тяхното възстановяване, а в много от случаите това е временно решение.

Класическите методи и технологии за възстановяване и производство на детайли изискват значителен брой висококвалифициран персонал, много време, трудоемки и енергоемки са.

Иновативните компютърно подпомагани технологии предлагат решения за бързо производство на стандартни и нестандартни детайли с относително малко капиталовложение. Използването на 3D принтери за изработка на такива части в случай на спешна нужда, ще спести ценно време, загубено по логистичната верига за снабдяване.

3. Предлагат се следните възможности за внедряване на компютърно подпомагани системи за производство в ПРС:

- на ремонтните органи от тактическите нива (ремонтен взвод) в ПРС за ремонт на АТ и/или БТ до две системи за адитивно производство, използващи технологията FDM. Това се дължи на изискванията относно малък обем на ремонтните работи и кратка продължителност на извършваните от тях ремонти, но могат да бъдат подменяни отделни детайли.

- на ремонтните органи от оперативно-тактическите нива (ремонтна рота) в ПРС за ремонт на АТ, БТ и АВ до шест системи за адитивно производство, използващи технологията FDM, SLA и SLS.

- на ремонтните органи от оперативно ниво (ремонтен батальон) в ПРС за ремонт на АТ, БТ, ИТ и АВ и ПРС, оборудвано до девет системи за адитивно производство използващи технологията FDM, SLA и SLS, и до три системи CNC. Обема и продължителността на извършваните ремонтните работи са по-големи. Могат да се извършват основни ремонти на възли и агрегат, и възстановяване на детайли.

Броя на системите за АП, на отделните нива, следва да се определи след по-задълбочено проучване на изпълняваните от тях задачи.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Иванов НЦ, „Анализ ефективността на подвижните ремонтни средства използвани в Българската армия“, Годишната университетска научна конференция на НВУ "В. Левски", ИК НВУ - В. Левски, 2019 година Велико Търново.

2. Иванов НЦ, Спирдонов СА, Гигоров ГБ, „Анализ на възможностите за използване на 3D принтери във военната област“, научна конференция „Логистиката и обществените системи“ февруари 2021 година Велико Търново.

Авторефератът не съдържа класифицирана информация.



VASIL LEVSKI NATIONAL MILITARY UNIVERSITY

FACULTY OF LOGISTICS AND TECHNOLOGIES

major eng. assistant Nikolay Tsankov Ivanov

**RESEARCH
OF OPPORTUNITIES
FOR THE IMPROVEMENT OF
MOBILE WORKSHOPS
IN THE ARMED FORCES
OF THE REPUBLIC OF BULGARIA**

A B S T R A C T

for the acquisition of an educational and scientific degree "doctor"

Field of higher education: 5. "Technical sciences"

Professional direction: 5.13. "General engineering,

Scientific specialty: "Wheel, tracked machines and logistics"

Scientific supervisor: Associate Professor Ivan Nikolaev Minevski, Ph.D., Eng

VELIKO TARNOVO

2024

The dissertation work has been discussed and scheduled for defense by the departmental council of the "Management of Resources and Technologies" department of Vasil Levski National University, Veliko Tarnovo, held on 21.03.2024.

The numbers of chapters, points and sub-points, numbers of figures, tables and formulas in the abstract correspond to those of the main text of the dissertation.

The doctoral student works at Vasil Levski National University and is enrolled in the Department of Resource and Technologies Management at the Faculty of Logistics and Technologies of Vasil Levski National University for independent training. The research was carried out at Vasil Levski National University.

The defense of the dissertation will take place on 29/05/2024 at 11:00 a.m. in room 2220 of Vasil Levski National University.

The defense materials are available to those interested at Vasil Levski University of Veliko Tarnovo.

Author: Major eng. Nikolay Tsankov Ivanov

Title: "Research of opportunities for the improvement of mobile workshops in the armed forces of the Republic of Bulgaria".

Circulation:5 pcs.

Printing facility of the National Military University "Vasil Levski"

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

The rapid and dynamic development of the mechanical engineering industry based on the development of technologies and their implementation in armaments and combat equipment creates conditions for increasing their combat effectiveness. At the same time, this dynamic development leads to the emergence of a number of problems of economic, technical, production-technological, and purely military nature.

The solution to most of the problems is the unification of units, aggregates, apparatus, and systems. The objectives of unification are:

- ensuring optimum technical, technological, and operational compatibility.
- interchangeability of armaments and equipment with those of the same type used by the armed forces of the Republic of Bulgaria (RB) and also within the North Atlantic Treaty Organization (NATO);
- improving conditions for operation, storage, maintenance and repair;
- creating conditions for the use of civilian equipment for the needs of the Bulgarian Army (BA);
- creating conditions for the introduction of automated management systems.

The importance of repair and the use of mobile repair tools to solve these problems:

To this end, it is necessary to carry out a thorough analysis and study of the state of the existing system of mobile workshops (MWs) and their practical compatibility in the conduct of multinational exercises on the territory of the Republic of Bulgaria and beyond, as well as in the participation of contingents of the Armed Forces of the Republic of Bulgaria in multinational operations on and beyond the territory of the country.

The topicality of the research is conditioned by the need of the Bulgarian Army formations to acquire and maintain certain capabilities ascribed by the Constitution of the Republic of Bulgaria. The restructuring of the Armed Forces and the modernization of the weapons and equipment, in the context of the membership of the Republic of Bulgaria in NATO, imposes new requirements on the capabilities of the maintenance and repair system, in particular, of the subsystem of the MWs. The participation of contingents of the Bulgarian Army, together with coalition partners and allies, in joint exercises and operations under the auspices of NATO, the European Union, and the United Nations, also requires the acquisition and maintenance of new capabilities.

The foregoing demonstrates the need to analyze the effectiveness and quality of the equipment models in service with the AF, which make up the MWs system, and to identify opportunities for improving this system.

On this basis are defined:

Object of the study: the existing system of MWs

Subject: The repair capability of the MWs in service with the AF.

Purpose: Based on the analysis of the capabilities of the MWs in the AF and their missions and tasks, also taking into account the organization of field repairs in NATO member countries, to study the possibilities for improving the system of MWs in the AF through the application of innovative technologies.

To achieve this goal, the following tasks have been set:

1. Analysis of maintenance and repair systems for armored and automotive vehicles. Study of the types of MWs, their specialized equipment, and their capabilities to perform maintenance and routine repairs;
2. Research and analysis of the possibilities for automation of engineering design with modern CAD/CAM/CAE systems and use of additive manufacturing technologies for maintenance and repair of armament and equipment in the Bulgarian Armed Forces.
3. Comparative analysis of different 3D printing technologies;
4. Research and analysis of the possibilities of replacing parts produced by classical technologies with parts produced by additive manufacturing technology.

Limitations:

1. Study of the organization of repair and restoration activities, repair workers, and the MW system of the Army.

Methods:

1. Descriptive study of the MW system.
2. Questionnaire survey.
3. Experimental studies.

I. SCIENTIFIC AND APPLIED CONTRIBUTIONS

1. An analysis of the current status of the MW system in service in the Bulgarian Army was carried out.
2. An analysis of the possibilities of using additive manufacturing technologies in BA was carried out.

II. APPLIED CONTRIBUTIONS

1. An expert study was conducted to establish the effectiveness of the use of MWs.
2. Mechanical characteristics of various materials used for additive manufacturing were determined by employing experimental research.
3. The possibility of producing functionally compatible details, necessary for the restoration and repair of combat equipment, employing additive technologies, was investigated through experimental research.
4. Made and 3D printed gear from the weapon guidance drive of a BMP-1 infantry fighting vehicle.

The dissertation contains 130 pages (the main text covers 105 pages, reference literature 5 pages, and appendices 20 pages), including 25 tables (the main text 1 in the appendices 24) and 40 figures (in the main text 38 in the appendices 2). 69 literary and normative sources are cited. According to the dissertation, 2 copies were prepared. publications.

CONTENTS OF THE DISSERTATION

CHAPTER ONE

Maintenance and repair systems.

- 1.1. Organization of repair and restoration activities in the Bulgarian army.**
- 1.2. Analysis of systems for maintenance and repair of armored and automotive equipment, the study of the types of MWs, their specialized equipment, their possibilities for performing technical services, and current repairs.**
- 1.3. General characteristics and classification of defects. Detail recovery technologies. Recovery methods.**
- 1.4. Modern computer-aided technologies for the design and manufacture of machine elements.**
- 1.5. Conclusions to the first chapter.**
 - 1.5.1. The existing system for service and repair of weapons and equipment partially meets the needs of the army, as the BA is in the process of rearming.
New models of weapons and equipment require a different, than the existing, approach to maintenance and repair.
 - 1.5.2. The classic methods and technologies used to repair and restore the serviceability of armaments and equipment are time-consuming, labor-intensive, and energy-intensive, and require the use of specialized devices and tools, which in turn require a large number of highly qualified personnel.
 - 1.5.3. Innovative technologies, such as additive manufacturing, offer solutions for rapid production of standard and non-standard parts with relatively small capital investments.

SECOND CHAPTER

Efficiency of use of MWs.

2.1. Study of the effectiveness of the use of MWs in armaments in the Armed Forces.

For the needs of the dissertation work and the solution of the first task, an expert study was carried out regarding the effectiveness and frequency of use of PRS in field and stationary conditions. For this purpose, a questionnaire was prepared, Appendix No. 2.1. The specific activities that can be performed with the most common types of MWs, as well as the specialized equipment in them, were investigated. The following MWs were included in the study: MTO-AT, MTO-BT, MRS-AT, MRS-BT, MTO-80, MRS-80 and MRM. The assessment is based on a five-point system for the frequency of operations performed and the use of specialized equipment, as follows:

1. never
2. rarely: 1 to 4 times a year
3. often: 1 to 4 times a month
4. very often: 1 to 4 times a week
5. daily

The study was carried out in several formations of the Ground Forces, and repair formations at the platoon, company, and battalion level were selected for this purpose. The people who filled out the questionnaire were appointed to positions as repair specialists. The total number of completed surveys is 80.

The obtained results are presented graphically in two sub-sections for each of the investigated MWs. Each graph reflects the responses given for stationary and field conditions.

2.1.3. MRS-AT

2.1.3.1. Operations performed with MRS-AT

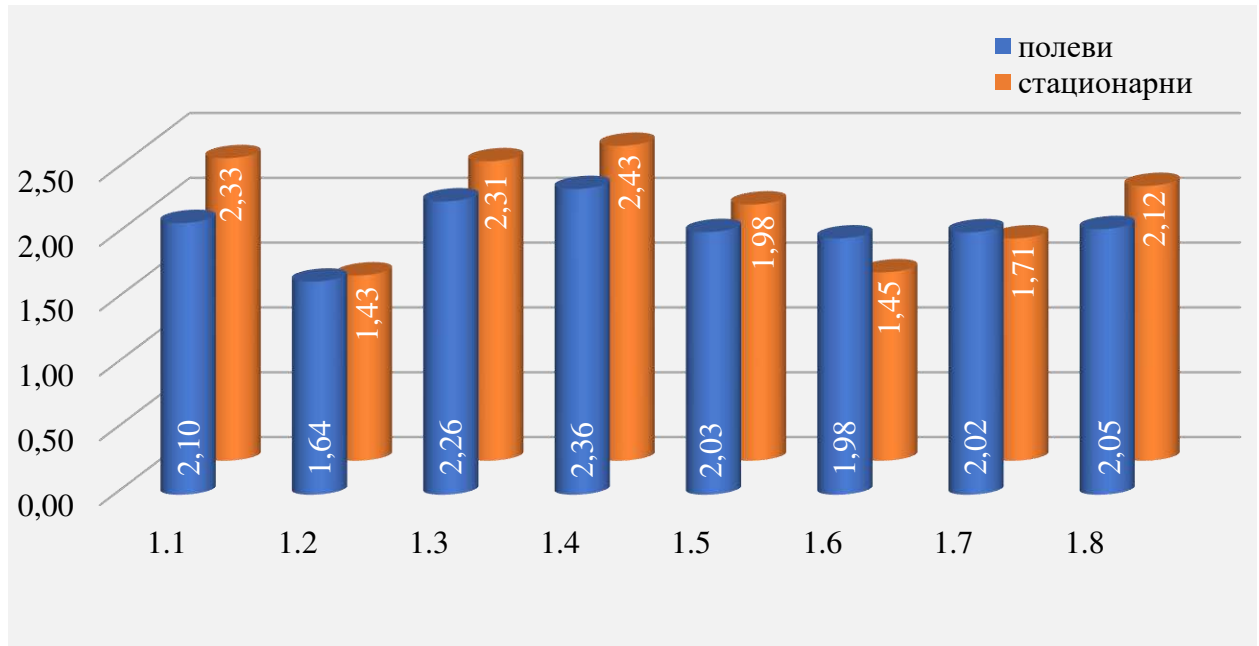


Fig. 2.5. Operations performed with MRS-AT in field and stationary conditions

In figure 2.5. the results of the frequency of specific operations performed with MRS-AT are shown:

1.1. Dismantling and assembly works; 1.2. Welding works; 1.3. Control and regulation; 1.4. Diagnostic works; 1.5. Lifting works; 1.6. Full deployment of the workshop; 1.7. Partial deployment of the workshop; 1.8. Small special (painting, upholstery, carpentry, tinsmithing, charging-lubricating, electrotechnical).

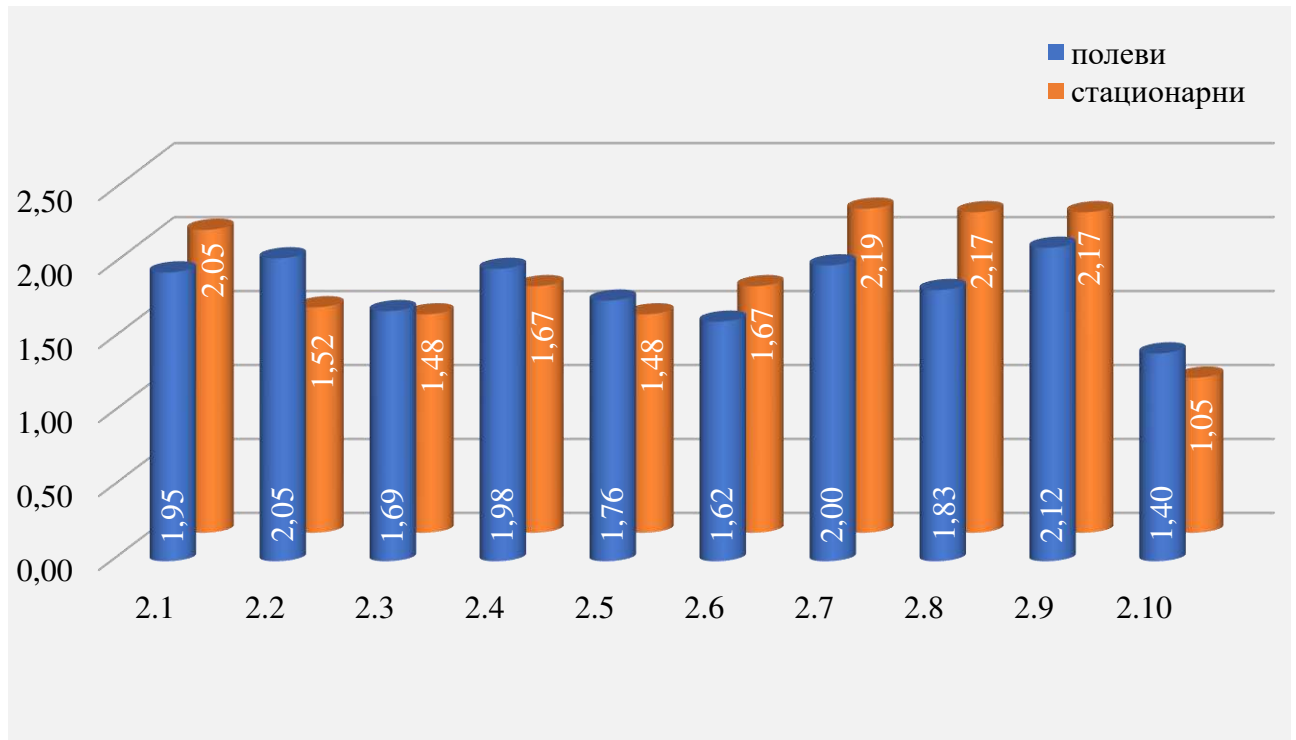
The results were obtained based on the answers of 43 military personnel holding the following positions:

- deputy platoon commander of the ATT repair platoon;
- mechanic;
- ATT repair squad commander;
- BTT repair squad commander;
- Junior ATT repair technician;
- ATT repair technician;

Of the activities that can be performed with MRS-AT, the most frequently performed in field conditions, despite the indicated frequency – from 1 to 4 times a year, are:

- Dismantling and assembly works;
- Control and regulation;
- Diagnostic works;
- Lifting works;
- Small specials.

2.1.3.2. Used tools, accessories and equipment of MRS-AT



Фиг. 2.6. Frequency of MRS-AT tools, accessories and equipment used

In figure 2.6. the results of the frequency of used tools, accessories and equipment of MRS-AT are shown:

- 2.1. Lifting equipment;
- 2.2. Cable network;
- 2.3. Hydraulic press;
- 2.4. Device for checking the electrical equipment of the car;
- 2.5. Gasoline power unit;
- 2.6. El. wrench;
- 2.7. El. manual drill;
- 2.8. El. emery board;
- 2.9. Jack Hydraulic;
- 2.10. Acetylene generator.

Of the tools, accessories, and equipment of MRS-AT used in field conditions, the most frequently used, despite the indicated frequency – from 1 to 4 times a year, are:

- Jack hydraulic;
- Cable network;
- Electric hand drill.

2.2. Summary of survey data.

The Pearson method (linear correlation) was used to determine the correlation coefficient r . The formula for calculating r is:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.1.)$$

where:

- n is the number of observations in the data,
- x_i and y_i are the i -th values of the variables X and Y ,
- \bar{x} и \bar{y} are average values of X and Y respectively.

After processing the survey data, the following results were summarized:

- Number of surveys by type of MWs

Type of MWs	no.
MTO-AT	8
MTO-BT	6
MRS-AT	43
MRS-BT	32
MTO-80	3
MRS-80	2
MRM	1

From the obtained result, it is clear that the MRS-AT and MRS-BT workshops received the most answers. Therefore, the objectivity of the results obtained for these two workshops will be the greatest.

- Number of respondents by position

Position	no.
deputy commander of a BTT repair platoon	1
Mechanic	4
squad leader of the BTT repair squad	9
BTT repair technician	9
junior BTT repair technician	11
deputy commander of the ATT repair platoon	4
squad leader of the ATT repair squad	8
AT repair technician	19
Junior auto repair technician	15

By performing a correlation analysis, the existence of a relationship between the position and the given answers will be investigated.

- Type of the military unit in which the respondents serve

Type of military unit	no.
Mechanized Battalion	17
Tank battalion	10
Logistics Support Battalion	19
Repair Battalion	34

The type of the operated and repaired equipment is characterized by the type of the military unit. If it is heavily or lightly armored, is it tracked or wheeled.

- Level of the military unit in which the respondents serve

Troop level	no.
Repair company/repair platoon	53
Logistics Company/Repair Platoon	27

By the level of the military unit, the repair bodies are distinguished by what repairs they can perform, their complexity, and their duration.

Taking into account the fact that over the last 20 years, the number of exercises and field exercises outside the permanent deployment points of the formations was significantly reduced, as well as the seniority of those who filled out the questionnaire, it can be concluded that the obtained results are objective. If the number of field exercises and classes is increased, the frequency of use of PSC will increase proportionally.

This conclusion is based on a correlation analysis of the given answers in relation to the seniority and position of the respondents. From the obtained results, it is clear that there is no dependence between the frequency of the performed operations, the tools and accessories used, from the experience, and the position of the respondents.

2.3. Conclusions to Chapter Two

- 2.3.1. The data from the conducted study show that the maximum capacity of the PSC is not being used. The tools and accessories equipped with them are rarely used.
- 2.3.2. The correlation analysis shows the lack of dependence between the experience and position of the respondents and the answers given by them. In other words, rarely performing operations or using equipment is not due to lack of experience. The reason for this can be, on the one hand, the lack of spare parts, and on the other hand, the small number of field exercises, with the participation of equipment and personnel.
- 2.3.3. The main reason for the insufficient use of the PRS is the very limited number of field classes and exercises in BA.

CHAPTER THREE

Possibilities for the modernization of the MWs.

3.1. Technologies for additive manufacturing.

3D printing or additive manufacturing (AM) is the construction of a three-dimensional object from a CAD model or digital 3D model. It can be done by various processes where the material is deposited, bonded, or solidified under computer control. The material (such as plastics, liquids, or powdery grains that fuse) is usually added layer by layer.

A characteristic of all 3D printers is that they build objects by adding material, which is the opposite process of how CNC machines work, where objects are obtained by subtracting material.

Currently, the most common technologies for additive manufacturing are Stereolithography (SLA), Selective laser sintering (SLS), and Fused deposition modeling (FDM).

3.1.1. Stereolithography (SLA)

Stereolithography (SLA or SL), Figure 3.1., also known as bath photopolymerization is a form of 3D printing technology. Used to create models, prototypes, replicas, and production parts layer by layer. The technology uses photochemical processes by which light causes chemical monomers and oligomers to bond together to form polymers. These polymers then form a three-dimensional solid. Stereolithography can be used to create prototypes for products in development, medical models, and computer hardware, as well as in many other applications.

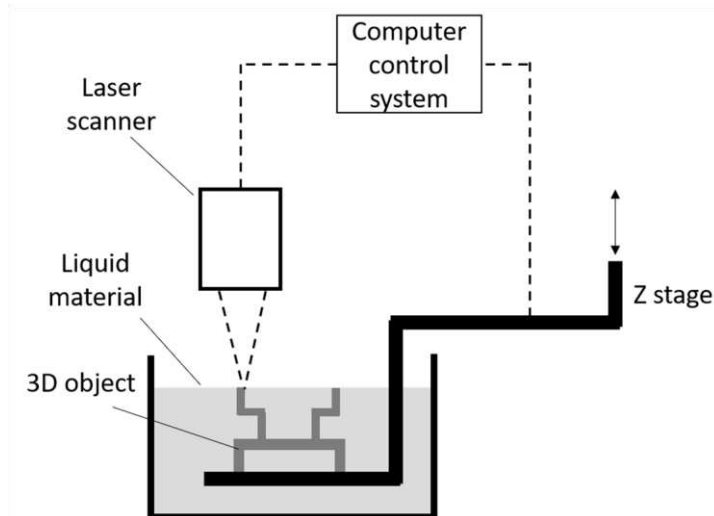


Fig. 3.1. 3D Modeling by Stereolithography.

3.1.2. Selective Laser Sintering (SLS)

Selective laser sintering (SLS), Figure 3.2., is an additive manufacturing (AM) technique. The technology uses a laser as a source of energy and heat to sinter a powdered material (typically nylons or polyamides). Directing the laser automatically to points in space determined by the 3D model, the energy melts the surface layer of the material, binding it together to create a solid structure. It is similar to selective laser melting (Selective laser melting - SLM). The two are instances of the same concept but differ in technical details. SLS (like the other AM techniques mentioned) is a relatively new technology that has so far been mainly used for rapid prototyping and low-volume component production. Manufacturing capabilities are expanding as the commercialization of AM technology improves.

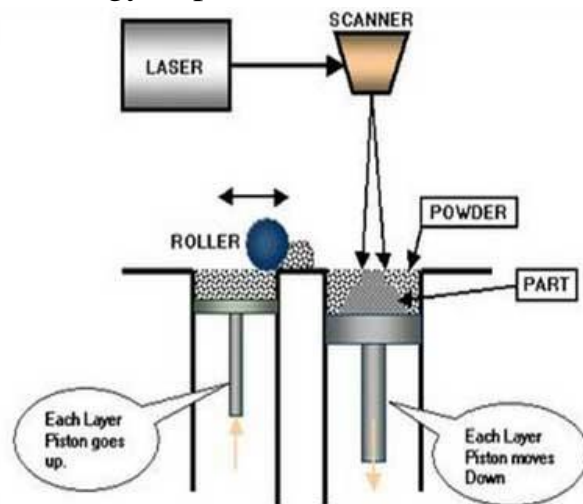


Fig. 3.2. 3D Modeling by laser sintering

3.1.3. Fused Deposition Modeling (FDM), also called Fused Filament Fabrication (FFF).

Fused Deposition Modeling (with the reserved acronym FDM), fused filament manufacturing (FFF) also known as freeform filament manufacturing, is a 3D printing process that uses a continuous strand of a thermoplastic material called a filament. The filament is fed from a large spool through the printer's moving, heated extruder head and deposited layer by layer. Typically, the head moves in two dimensions to deposit in one horizontal plane or one layer, and then the model or print head moves vertically to start a new layer. The speed of the extruder head is controlled when to stop and start deposition to form a discontinuous plane without getting stringing or dribbling. The term "Manufacture by melting filaments" was coined by members of the RepRap project to give an acronym (FFF) that is legally unrestricted in its use.

Extruders for printers using this technology have a cold end and a hot end. The cold end pulls the material from a spool using gear or roller torque and controls the filament feed rate using a stepper motor. The cold end pushes the filament toward the hot end. The hot end consists of a heating chamber and a nozzle. In the heating chamber, the filament is melted to become a liquid. This allows the molten material to exit through the small nozzle to form a thin, sticky liquefied strand of plastic that adheres to the bed or material already deposited. The nozzle is usually between 0.3 and 1.0 mm in diameter. Different types of nozzles and heating methods are used depending on the material to be printed with. In Figure 3.3, a pictorial scheme of a machine working on the technology is presented.

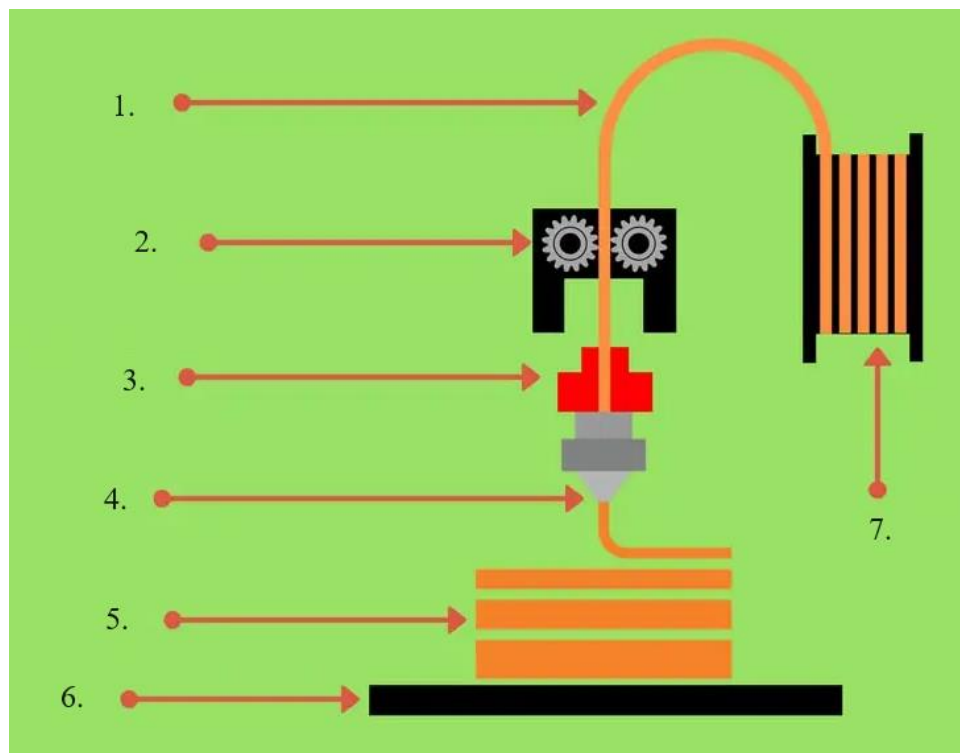


Fig. 3.3. FDM/FFF technology

1. A strand of filament fed to the extruder.
2. Gears controlling filament feed and pull.
3. A heater that melts the filament.
4. Nozzle applying material.
5. Layered material.
6. Printed bed.
7. Filament roll.

3.2. Making a part using an additive manufacturing system.

3.2.1. Research of materials used in FDM technology for additive manufacturing and selection of material for manufacturing a part.

For the needs of the dissertation study and to fulfill the third task, a model of an involute gear wheel with external straight teeth was selected for research.

ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene), PETG (polyethylene terephthalate glycol), and PA CF (carbon fiber polyamide) filaments were selected for the study.

Test bodies with a rectangular section of the working part were made from the selected materials. Two of each material were printed at 50% and 100% fill density. They were subjected to a tensile test.

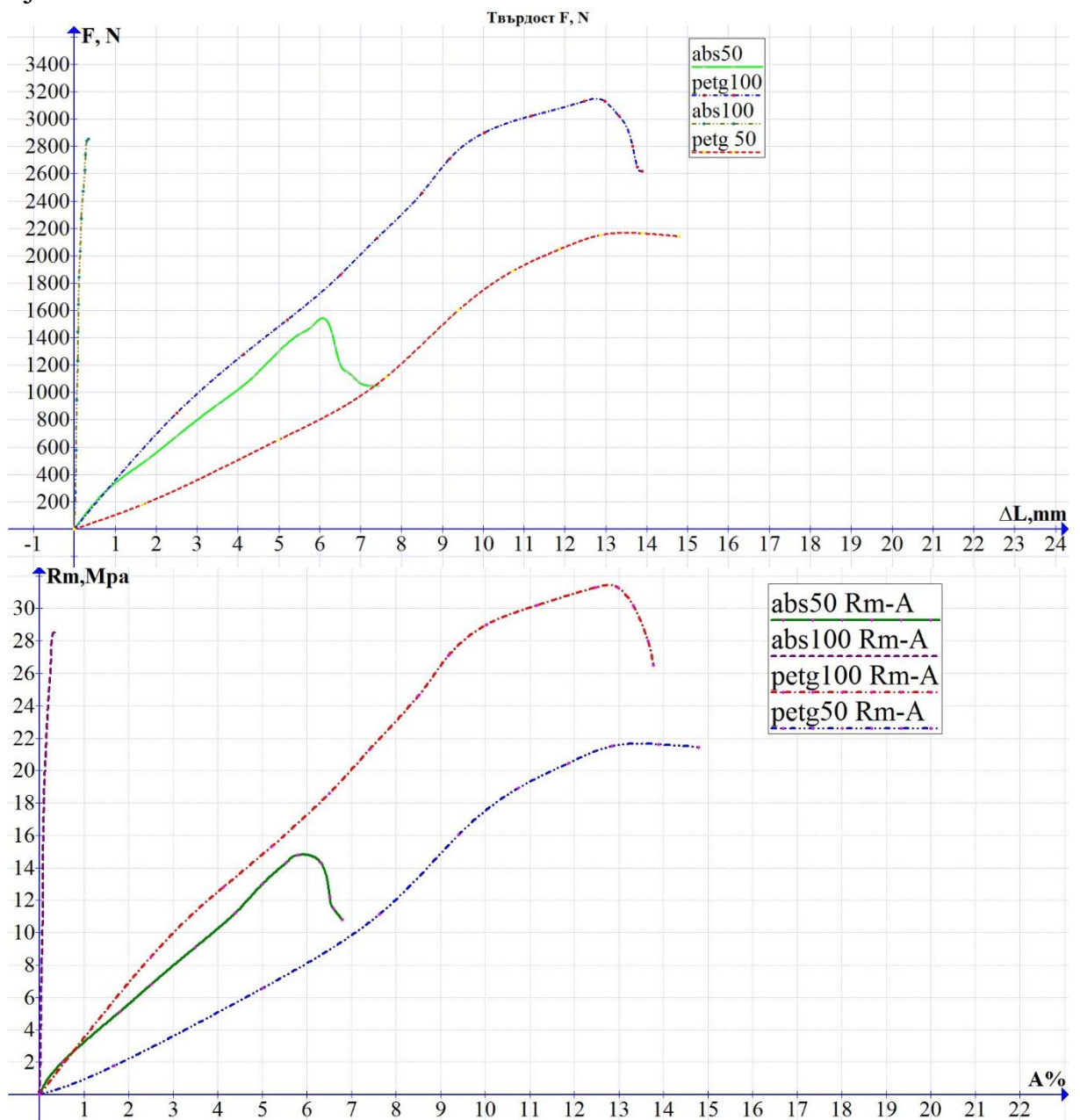


Fig. 3.9. Graphical view of tensile test results of ABS and PETG samples

From the obtained results it is evident that the PETG filament has better strength characteristics than the ABS filament. Also apparent from the graph is that the yield strength of the PETG filament is slightly lower than the breaking strength of the ABS filament. From this, it can be concluded that with the ABS filament, the elasticity is very small, and with the PETG filament, irreversible changes will occur in the geometry of the part without breaking at approximately the same effort.

Because of the fact that the manufacturer chose the driven gear, from the turret rotation mechanism of the BMP-1, to also perform the role of a "protector", ABS filament was chosen as the material from which to make the part.

3.2.2. Identification of geometric parameters and creation of a model in the environment of CAD module „SolidWorks”.

3.2.2.1. Identification of the main geometric dimensions of a gear wheel from the BMP-1 weapon guidance drive.

Spare gears taken from a ground troop formation were used. In Figure 3.4. the models used to identify the geometric dimensions are shown.



Fig. 3.10. Driven gear from the turret rotation mechanism of the BMP-1P

In the methodology for identifying the dimensions of the gear wheel, the following basic geometric dependencies are used:

- module – m ;
- reference circle – d ;
- Profile angle of the output contour – $\alpha = 20^\circ$
- The distance between profiles of the same name on two adjacent teeth, measured along the arc of the reference circle, is called the "pitch" of the gear – p ;

- Engagement step – p_b ;
- number of teeth – z ;
- general normal – W_k (where k is the number of covered teeth);
- height modification factor of the tooth profile – x ;

The following geometric relationships were used to identify the dimensions:

- the engagement step p_b :
 - by using the gear module m by the formula:

$$p_b = \pi m \cos \alpha \quad (3.1.)$$

In this equation, the pitch and modulus are unknown. This method will be used for subsequent verification!

- Determining the pitch of engagement from the general normal W by the formula:

$$p_b = W_k - W_{k-1} \quad (3.2.)$$

where W_k is the distance between k number of teeth measured on the pitch circle, W_{k-1} is the distance between $k-1$ number of teeth.

- measured - $W_k = 24,461$ mm
- measured - $W_{k-1} = 14,944$ mm

From where we get for the pitch step:

$$p_b = W_k - W_{k-1} = 24,461 - 14,944 = 9,517 \text{ mm}$$

- After determining the step, the module of the gear wheel is determined by the formula:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha \quad (3.3.)$$

From formula 3.3. we get:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha = 9,571 / 3,14 \cos 20^\circ = 3,24$$

After checking in gear module standards, the closest is 3.25mm. The gear assembly is assumed to be $m = 3,25$



- Determination of the pitch circle d by the module of the gear wheel by the formula:

$$d = z m \quad (3.4.)$$

Complete consistency in the calculations of the basic geometric dimensions is not the main goal of the study. Therefore, the complete write-up is not necessary.

3.2.2.2. Creating a model in the CAD module environment „SolidWorks”.

The method by which the gears were made was as follows:

- A new *SolidWorks* document of type „Part“  is created;
- The "Equation" module is used to enter the main dependencies module, number of teeth, angle of the profile of the output contour, and correction factor of the profile of the tooth;
- In the „Sketch“  working environment, a plane is selected in which the main contour is sketched and dimensioned –*tip diameter* of the gear wheel Figure 3.11., determined by the formula:

$$d_a = [z + 2 (x + 1)] m \quad (3.5.)$$

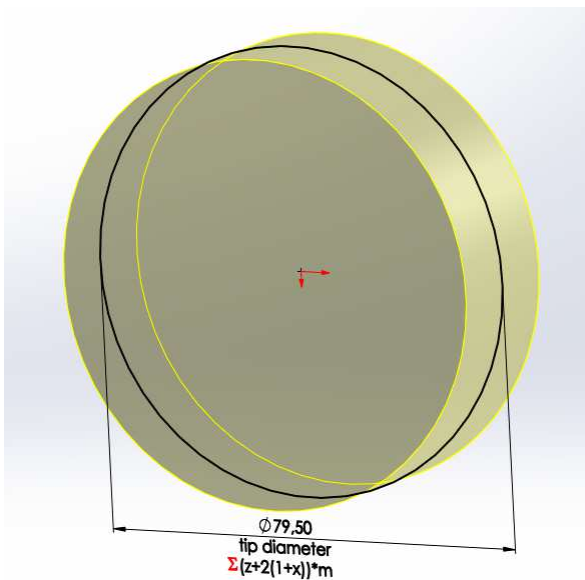

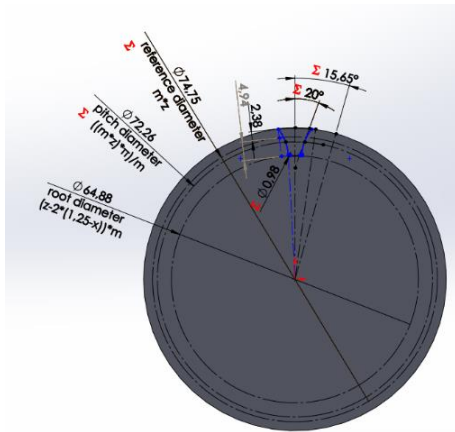


Fig. 3.11. tip diameter

- In the *Futures* work environment, the sketch is drawn to the desired part width using the *Extrude*  button;
- Again in the „Sketch“ working environment, a plane is selected in which, using the sketching tools, the rest of the basic gear geometries and the contour of the tooth profile are sketched Figure 3.12.

To determine the basic geometries of the tooth profile, the following formulas 3.6., 3.7. and 3.8. were used:

$$d = m z \quad (3.6.)$$

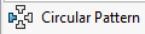


- reference diameter – d
- pitch diameter – d_b
- root diameter – d_f

Fig. 3.12. Interdental formation of two adjacent teeth

$$d_b = (d \pi) / m \quad (3.7.)$$

$$d_f = [z - 2 (1,25 - x)] m \quad (3.8.)$$

- In the *Futures* work environment, the button  multiplies the cutting of the tooth profile until 23 teeth are obtained - fig. 3.13.;

After the production of the gear wheel, two gear wheels were formed, which have different fastening methods. Gear drawings are shown in Appendix 3.1. and Appendix 3.2.

After the final shaping of the model, it is saved as a file with the file extension *.PRT; *.SLDPRT so that corrections can be made if necessary. A second recording of the file follows, and the extension in which it is recorded is *.STL. This is necessary for the module with which the model will be prepared for printing.

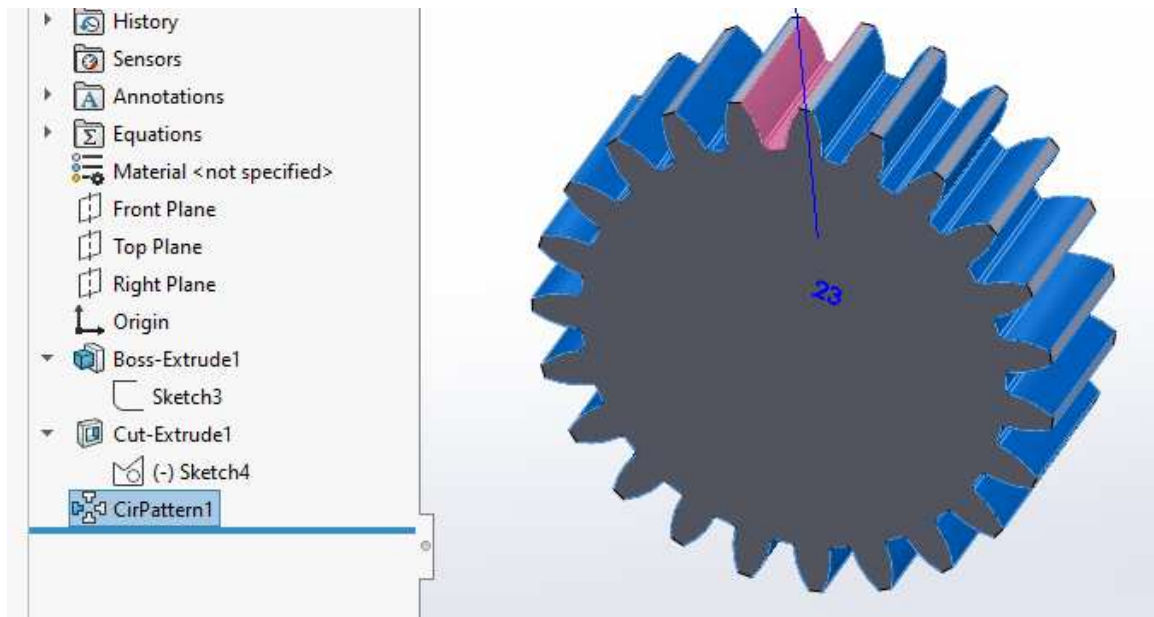


Fig. 3.13. Reproduction of the cut of the tooth profile

The files were generated:

- EqD 1st SG m3.25 z23 with extensions *.SLDPRT и *.STL;
- EqD 2nd SG m3.25 z23 with extensions *.SLDPRT и *.STL.

With this, the process of creating a 3D model was completed.

3.2.3. Making a model created in the CAD module environment „SolidWorks”.

Each 3D printer manufacturer uses a specific module to prepare 3D models for printing. Examples of such software are:

- Cura, from 3D printer maker UltiMaker;
- Simplify3D – specialized software for the entire process from construction to optical printing;
- PrusaSlicer, from 3D printer maker Prusa3D;
- CrealitySlicer, from 3D printer maker Creality;
- CreatWare, from 3D printer maker CreatBot.

The printer used to print the prepared gear models is CreatBot DX plus manufactured by CreatBot. The software used to prepare the model for printing is CreatWare V6.2.1.

The preparation was carried out in the following sequence:

- The software is launched and the file/files to be prepared for printing are selected Figure 3.14.;

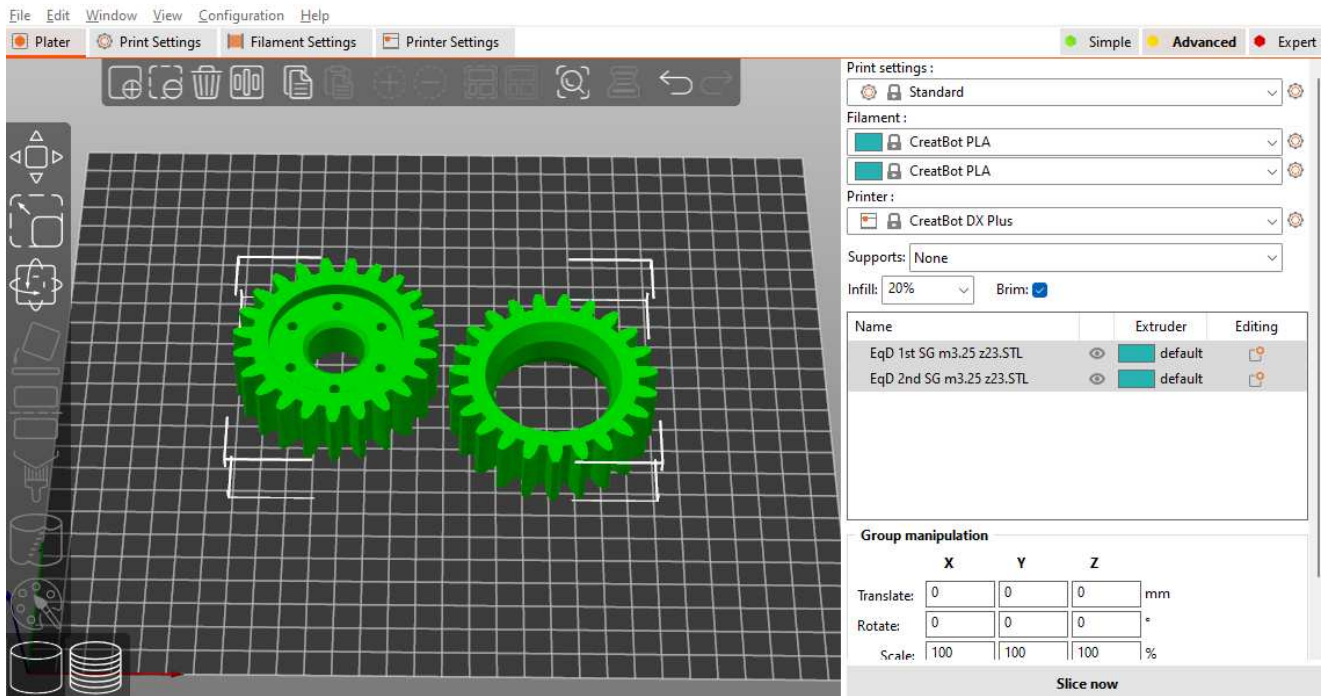


Fig. 3.14. Preparing the 3D model for printing

– The software has drop-down menus from which various print settings can be specified:

- Choice of print quality;
- Selection of material from which the part will be printed;
- The software offers the possibility to change the settings, depending on the user's desire. These are layer height; printing speed; wall thickness of the workpiece (number of descriptions of the external contours of the workpiece); filling the detail in percentages; the shape of the internal structure; construction of a supporting structure, its shape and density; construction of a pad to connect to the print bed, shape and density of the pad; and others.

– After choosing the quality, the type of filament, and setting the desired additional settings, press the "slice" button. With this command, the program cuts the part into layers, depending on its selected height, determines the "path" of movement of the extrusion head, and the moments when it will start and stop the extrusion of the filament. I.e. the program creates all the commands that will control the printer for the entire process of printing the part. With the completion of the process of preparing the part for printing, a file with the extension *GCODE is generated in Figure 3.15.

After preparing the model for printing, the software offers a visualization of the entire printing process. The preview allows an overview of each layer, as well as the "path" along which it will be deposited. This possibility is a significant plus because flaws in the preparation of the model can be seen and eliminated.

Once generated, the file cannot be modified. If it is necessary to change the print settings, the model preparation process is repeated with the selection of the desired settings.

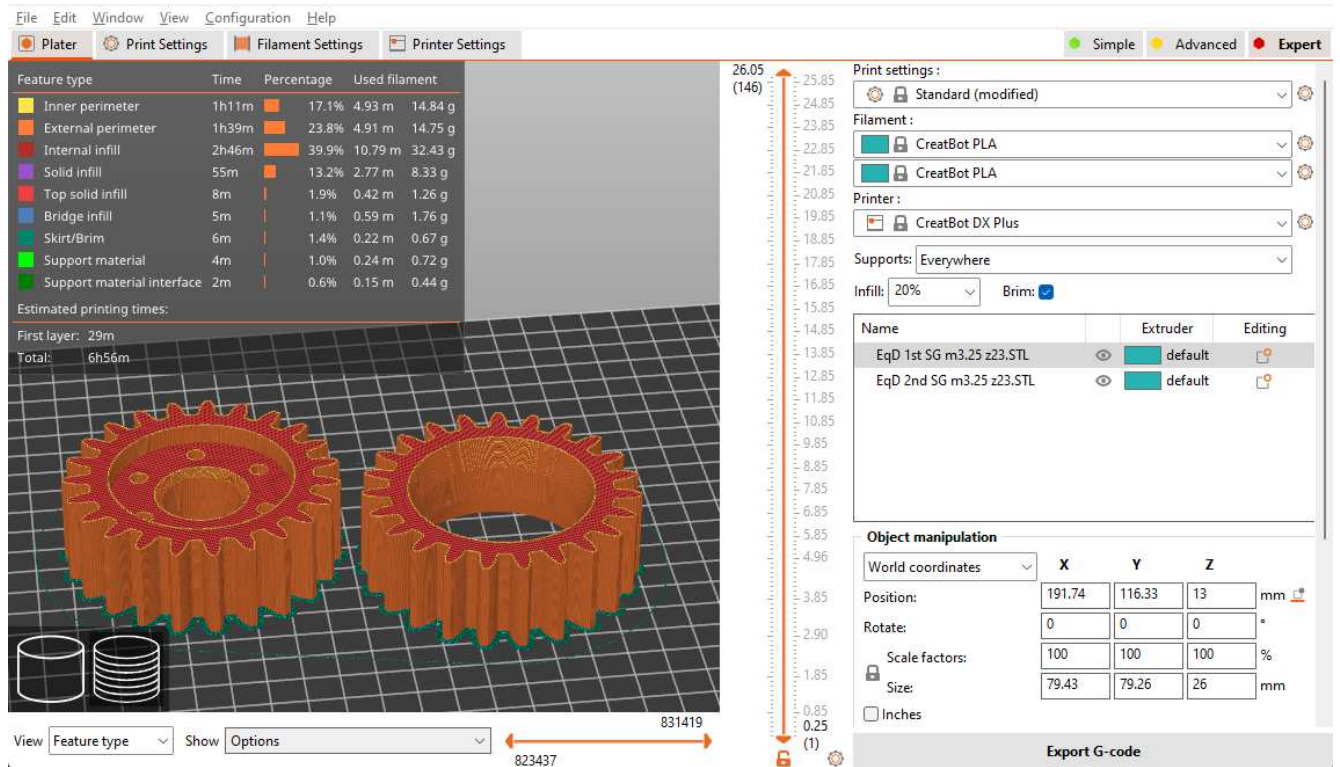


Fig. 3.15. Review the print process and export the command file

3.2.5. Experimental study of the functional compatibility of a part made using an additive manufacturing system.

For the purposes of the dissertation work, the functional compatibility of the part manufactured in an additive manufacturing system was checked. A working committee was formed to establish whether the manufactured detail was compatible.

For the work carried out by the commission, a protocol was drawn up, appendix No. 3.3. to the dissertation work.

Activities carried out by the committee:

- disassembly of the gear wheel from the drive for horizontal guidance of the BMP-1 armament. The dismantled gear wheel is made of textolite Figure 3.16.;



Fig. 3.16. Visual inspection of gears

- visual inspection and comparison of the dismantled gear with the gear made by printing on a 3D printer figure 3.17.;



Fig. 3.17. Visual inspection of gears

- assembly of the manufactured, by printing a 3D printer, gear wheel to the guidance drive figure 3.18.;



Фиг. 3.18. mounting a gear made of
ABS

- checking the operation of the mounted gear by rotating the turret using the hand drive to guide;
- disassembly and subsequent assembly of the original gear.

Due to organizational difficulties, no function check was carried out via the electric guidance drive. The machine provided for the experiment was not equipped with rechargeable batteries.

As a result of the inspection, the following facts were established:

- when performing the visual inspection, a difference was found in the size of the faces of the teeth, of the gear wheel removed from the machine, and those of the one printed on a 3D printer. It is concluded that the difference is due to thinning of the tooth faces due to work wear. No difference in other dimensions was found;
- assembly of the printed gear was performed and its operation was verified by using the hand drive to point and rotate the turret 90° by horizontally;

3.3.Possibilities to improve and modernize the MWs by implementing an additive manufacturing system.

The meaning of the word "**modernization**" is innovation, improvement, improvement to meet modern requirements and norms!

The possibilities for modernization of a MWs, according to the meaning of the word, are many. If we look at a wide range of aspects in which modernization can be done, then these possibilities are many. If "improvement" is meant by modernization, then this can mean modernization of the van, in which equipment and accessories are placed, by replacing it with one manufactured according to modern technologies, i.e. improving the working conditions of the crew. Specialized equipment and apparatus can be replaced with modern ones and much more.

Looking at the meaning of 'innovation' it means the introduction of something new. New, like equipment, or new, like technology.

Is it possible to implement an AM system in a mobile workshop?

The answer to this question lies in the peculiarities of both the system and the specific MWs. I.e. it is necessary to review both the varieties of AM technologies and the specific requirements of each of them, as well as the specifics and purpose of different types of MWs.

The layout of the equipment in both workshops shows that there is the necessary space to implement an AM system. If necessary, relocations can be made in the equipment to provide more space if the implemented system has larger dimensions.

All workshops have up to three sources of power supply, one own - gasoline power unit and two external - diesel power units, and the possibility of connecting to a power transmission network.

The reviewed innovative technology for additive manufacturing, its possibilities, and its application show that it is possible to integrate such a system in MWs.

3.4. Conclusions to Chapter Three

3.4.1. It is an indisputable fact that additive manufacturing technologies are increasingly being used in engineering, medicine, construction, the military industry, etc. From the experience of foreign armies, it is clear that the main directions for the application of AM technologies in the military sphere are the production of spare parts for the repair of armaments and equipment, and the construction of buildings in field conditions.

3.4.2. Carrying out repairs, both in combat conditions and in peacetime, requires a timely supply of spare parts. Using 3D printers to make such parts in case of urgent need will save valuable time lost along the supply chain and procurement. The specifics in the construction of military equipment do not allow the procurement of spare parts from the free market, and the cost price of individually produced ones in factory conditions is higher than that of those printed with a 3D printer. This would lead to an increase in the

efficiency and effectiveness of the repairs carried out and a reduction in the cost of delivery and storage in a warehouse.

3.4.3. There is a wide range of materials that can be used in AM technologies. For FDM printers, through appropriate research, materials with suitable mechanical properties can be selected to fabricate various elements and details.

3.4.4. The use of 3D printers in the military field allows the entire spectrum of operations of the armed forces to be covered, from the combat environment to humanitarian aid and disaster and accident relief. With this, the costs of maintenance and repair of equipment can be reduced on the one hand, and the capabilities of the Bulgarian Army can be increased on the other.

GENERAL CONCLUSIONS

1. 1. The efficiency of the use of MWs is significantly reduced. There are many factors influencing it. The biggest impact is the lack of spare parts, the small number of field exercises and exercises, and the outdated equipment in them.

The system for service and repair of armaments and equipment partially meets the needs of the army. The introduction of new types of weapons and equipment imposes new requirements on the MWs.

2. 2. Repairs in the field require the maintenance of a significant stock of spare parts. The lack of such often necessitates the search for opportunities for their restoration, and in many cases, this is a temporary solution.

Classical methods and technologies for the restoration and production of details require a significant number of highly qualified personnel and are time-consuming, labor-intensive, and energy-intensive.

Innovative computer-aided technologies offer solutions for rapid production of standard and non-standard parts with relatively little capital investment. Using 3D printers to make such parts in case of urgent need will save valuable time lost along the logistics supply chain.

3. 3. The following options are offered for the implementation of computer-aided production systems in the MWs:

- of the repair bodies from the tactical levels (repair platoon) in the MWs for the repair of AT and/or BT up to two additive manufacturing systems using FDM technology. This is due to the requirements regarding a small volume of repair work and the short duration of the repairs carried out by them, but individual details can be replaced.

- - of the repair bodies from the operational-tactical levels (repair company) in the MWs for the repair of AT, BT, and AV up to six additive manufacturing systems using FDM, SLA, and SLS technology.

- of the repair bodies of the operational level (repair battalion) in the PRS for the repair of AT, BT, IT, and AV and the MWs, equipped with up to nine systems for additive manufacturing using FDM, SLA, and SLS technology, and up to three CNC systems. The volume and duration of the repair works are greater. Basic repairs of assemblies and aggregates and restoration of details can be carried out.

The number of AM systems, at the individual levels, should be determined after a more in-depth study of the tasks they perform.

DISSERTATION PUBLICATIONS

1. Ivanov NC, "Analysis of the effectiveness of the mobile repair equipment used in the Bulgarian army", the Annual University Scientific Conference of V. Levski National University, IC NNU - V. Levski, 2019, Veliko Tarnovo.

2. Ivanov NC, Spiridonov SA, Gigorov GB, "Analysis of the possibilities of using 3D printers in the military field", scientific conference "Logistics and public systems" February 2021, Veliko Tarnovo.

The abstract does not contain classified information.