



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Борислав Албенов Каров

**ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ
МЕТАЛООБРАБОТВАЩ ЦЕНТЪР ОБСЛУЖВАН ОТ
ВИСОКОСКОРОСТНИ ЛИНЕЙНИ РОБОТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

Научни ръководители:

1. доц. д-р инж. Евстати Лефтеров Лефтеров

Рецензенти:

1.
2.

ВАРНА, 2015 година

Дисертационният труд е обсъден наГ. в катедра „Технология на машиностроенето и металообработващи машини” и насочен за защита.

Автор: маг. инж. Борислав Албенов Каров

Заглавие: **„Проектиране и изследване на металообработващ център обслужван от високоскоростни линейни работи”.**



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Борислав Албенов Каров

**ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ
МЕТАЛООБРАБОТВАЩ ЦЕНТЪР ОБСЛУЖВАН ОТ
ВИСОКОСКОРОСТНИ ЛИНЕЙНИ РОБОТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

ВАРНА, 2015 година

Дисертационният труд съдържа 148 страници, включително 138 фигури, 57 таблици, 8 математични зависимости, оформени в увод, 6 глави, общи изводи, списък на използваната литература от 104 заглавия, от които 16 на кирилица и 88 на латиница.

Означенията на фигурите и формулите в автореферата съвпадат с тези от дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на Г. от часа в..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №...../..... Г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензията и становищата) са на разположение на интересующите се във ФД „Докторанти”, стая 318 НУК.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Динамичния пазар, нарастващата конкуренция и все по-големите изисквания към производителите за ниска себестойност на готовата продукция налагат да се намалят разходите и времето за производството на готовата продукция. За да повишат конкурентноспособността си производствените компании на механични заключващи системи повишават изискванията си към производителите на металообработващите машини. Изискванията са насочени предимно към автоматизация на технологичните процеси и намаляване времената за производство на единица продукция. Това води до необходимостта от проектиране на нови специализирани металообработващи машини насочени към определени технологични операции, за които обработващото време е от изключително значение за производството на единица готово изделие.

Решаването на проблема, свързан с необходимостта от разработване на металорежещи машини за производството на детайли с постоянно изменение на функционалните параметри се крие в проектирането и изследването на металообработващ център обслужван от високоскоростни линейни работи, чрез оптимизация и изпитване на продуктите във виртуална среда преди тяхната същинска реализация (без направата на физически прототипи). Това ще доведе до откриване на потенциални инженерни проблеми и намаляване броя на конструктивни изменения и броя на изработваните прототипи.

Актуалността на проблема се потвърждава и от оскъдните сведения публикувани до момента във връзка с: приложението и избора на високоскоростни лентени мотори в металорежещи високопроизводителни машини.

Интереса и поръчката на фирма производител на механични заключващи системи да се проектира и изработи подобна машина, още веднъж потвърждава актуалността на проблема на настоящата дисертация.

Проблем

Проектиране и разработване на симулационен модел на специализирана, модулна, металообработваща машина обслужвана от високоскоростни линейни мотори.

Цел и задачи на изследването

Настоящият дисертационен труд има за цел да се проектира и изследва металообработващ център обслужван от високоскоростни линейни работи за фрезоване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Реализирането на поставената цел изисква решаването на следните **основни задачи:**

1. Виртуално проектиране и определяне параметрите на възлите на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

2. Виртуално симулиране на моделирания модел за: откриване наличие на колизии, определяне на транспортните скорости и работните скорости на манипулатора, който: транспортира, зарежда, разтоварва и позиционира ключовите заготовки обслужвайки работните станции. Валидиране на виртуално проектирания модел.

3. Изследване параметрите на машината за профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки в реални условия с физически модел:

- Транспортни скорости на обслужващия манипулатор.
- Работни скорости на обслужващия манипулатор.
- Повторяемост на позициониране на обслужващия манипулатор.
- Точност на позициониране на обслужващия манипулатор.
- Качествени показатели на готовите изделия.
- Производителност на машината.

Обект и предмет на изследването

Обект на изследването, към който е насочен настоящия дисертационен труд е приложението на високоскоростни линейни мотори за обслужване на високопроизводителен металообработващ център.

Предмет на изследването са параметрите на високоскоростни линейни мотори и качеството на получените след обработка готови изделия.

Методи на изследване

По определени критерии е избрана програмна система за осъществяване на виртуално проектиране на комплексна металорежеща машина за нарязване на профилен механичен шифър тип „ямков секрет” и тип „вълнообразен канал”. Извършено е виртуално 3D моделиране в началния етап на проектиране, като се получава пълна представа за функционирането на структурния комплекс и неговите компоненти. Предложена е методика за намаляване на броят на изследваните елементи и избор на линейни двигатели за различните манипулатори. Анализираните параметри са основа за създадената експериментална установка за непрекъснато получаване и анализиране на данните при изпитание на машината. Експерименталната установка е изградена от постоянни магнитни плочи, линеен мотор, абсолютен линеен енкодер, драйвер на линеен мотор, контролер (CNC) и компютър за регистрация и обработка на данните. Използват се технологични критерии за оценка на състоянието и подмяната на режещия инструмент.

Място на изследване

Провежданите в дисертацията изследвания са теоретични и експериментални. Теоретичните изследвания са извършвани във фирма „Трейд Майстер” – ЕООД, експерименталните изследвания са проведени на територията на фирма „Мауер Локинг Системс” – ООД.

Научна новост на изследването

Научната новост се състои в следното:

- ✓ Проектиран и изработен е сложен металообработващ комплекс, като за първи път в Република България са използвани линеенни манипулатори управлявани от единна CNC система на Fanuc;

- ✓ Използвано е симулационно моделиране за решаване на оптимизационна задача за изграждане на металообработващия комплекс и структурните му компоненти;

- ✓ Разработен е нов подход при 3D моделирането, като са открити причинно следствени връзки позволяващи компоновката на сложни многофункционални металорежещи машини;

- ✓ Предложен е симулационен подход при проектирането позволяващ: да се определят и оптимизират скоростите и ускоренията на отделните манипулатори, да анализират и избегнат вероятните аварии (сблъсъци) при движение на отделните елементи на системата;

- ✓ Предложена е методика за избор на линейни мотори задвижващи захранващите системи на машината при предварително определени цикли и времена за тяхното изпълнение;

- ✓ Предложен е подход намаляващ времето за симулационното моделиране посредством упростиране и лесно манипулиране с големия брой подвижни елементи (1610 бр.), състоящ се в следното: разделяне на отделните подвижни възли и съхраняването им, като отделна единица.

Практическа ценност на изследването

Реализирана е високопроизводителна машина за нарязване на профилен механичен шифър (от типа „ямков секрет” и „вълнообразен канал”) съдържаща над 13000 компоненти, от които 1000 уникални.

Създаден е обработващ център извършващ следните операции: зареждане, нарязване, маркиране, почистване на чепаци с профилни пластини и четки, селектиране, разтоварване в палети с контейнери, транспортирането, зареждането, разтоварването и позиционирането на ключовата заготовка в отделните станции чрез манипулатора.

Разработен е обработващ център обработващ заготовки от месинг, мелхиор, галванично покрити с никел месингови заготовки при честота на въртене на работните вретена на машината от $8000 \div 40000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.

Разработена е система за периодична проверка на състоянието на режещия инструмент посредством периодична проверка на режещия му връх.

Предложен е подход за намаляване на времето за проектиране на сложни металообработващи системи и изчислителната мощност на използвания компютър.

Повишена е производителността на труда многократно, като обработката на една заготовка се извършва за 8.73 [s].

Определено е времето за използване и такта на подмяна на инструментите извършващи профилната обработка.

Апробация на изследването

Основните положения и резултати в определени етапи от дисертационния труд са докладвани и публикувани на следните места:

✓ Списание „Машиностроителна техника и технологии”, издание ТО на НТС – Варна и ТУ- Варна, 2012 г., ISSN 1312-0859 – 1 статия;

✓ Списание „CIO”, София, Септември, 2013 г., ISSN 1312-5605 – 1 статия;

✓ Списание „CIO”, София, Септември, 2014 г., ISSN 1312-5605 – 1 статия;

✓ Списание „Съюза на учените – Варна” – Серия “ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” - 1’2014 – 1 статия;

✓ Списание „Машиностроителна техника и технологии”, издание ТО на НТС – Варна и ТУ- Варна, 2014 г., ISSN 1312-0859 – 2 статии

Публикации по дисертационния труд

Направени са общо шест публикации по дисертацията. Три от тях са самостоятелни, а останалите три са в съавторство. Една от публикациите е на английски език.

Съдържание на дисертационния труд

Увод

Проектирането на автоматизираното производство започва с разработването на технология. При това е необходимо да се решат редица задачи, определящи както качествената (метод на последователност на обработките, режещи и измервателни инструменти, технологични бази), така и количествената страна (оптимална степен на диференциация и концентрация, режим на обработка, оптимална структура на автоматичния комплекс) на производствения процес. При решаването на тези задачи трябва да се изхожда от изискването да се осигурят висока производителност на автоматичните съоръжения и високо качество на продукцията. Проектирането на технология за автоматизирано производство представлява сложна комплексна задача.

При технологията за обработване с автоматични комплекси е необходимо да се постигне синхронност за извършваните операции. Най-

общо казано, синхронност в работата на отделните позиции на автоматичния комплекс се постига посредством разпределение на обработките по такъв начин, че времената за изпълнението им да се окажат възможно най-близки до онова от тях, което най-много съответства на такта. Синхронност се постига с технологичната екипировка, разчленяването и окрупняването на обработките и с промени в тяхната последователност. В случай че в една или повече операции единичното време значително превишава времето за обработване в останалите операции, най-трудоемката операция се разделя на няколко операции. Когато всички възможности за повишаване на режима на рязане и намаляване на спомагателното време са изчерпани, а синхронност на операциите не е постигната, увеличава се броят на едновременно обработваните детайли в дадената позиция, т.е. необходимият такт се получава с въвеждане на паралелни потоци за осъществяването на еднакви операции. Ако продължителността на отделните операции все пак се получава различна, променя се последователността на операциите, като се групират по продължителност, така че една до друга да са разположени машините с приблизително еднакво машинно време.

В настоящата работа са разгледани основните стъпки при проектирането, разработването и внедряването на автоматичен металообработващ комплекс обслужван от високоскоростни линейни роботи за фрезозане на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки, чрез използване на софтуерен продукт за проектиране и симулиране на машинни възли, съоръжения и др.

Целта на настоящата работа е проектиране и изследване на металообработващ център обслужван от високоскоростни линейни роботи за фрезозане на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Глава 1. Литературен обзор

Дисертацията започва с Глава 1. Литературен обзор, чиято цел е да разгледа информацията публикувана в литературните източници свързани с разглеждания от труда проблем.

Анализът на материалите започва със съществуващите машини за фрезозане на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки. Разделени са на няколко групи:

- Ръчни копиращи машини за ключарски ателиета;
- Копиращи машини с електромеханично задвижване на осите и програмно управление с кодови таблици;
- Напълно автоматични полу-индустриални машина с фиксирани захвати за рязане, маркиране и сортиране на различни видове ключове;

- Напълно автоматични полу-индустриални машина с въртящи се захвати за рязане, маркиране и сортиране на различни видове ключове;
- Напълно автоматични индустриални машина за рязане, маркиране и сортиране на различни видове ключове.

Определени са изискванията към параметрите на машината за нарязване на „ямков секрет” и секрет тип „вълнообразен канал”.

Разгледани са методите за съкращаване времето на проектиране и внедряване на новите машини. За да повишат своята конкурентноспособност, производствените компании са принудени да съкращават времето за проектиране и внедряване на нови изделия както и да намаляват себестойността и повишават качеството на продуктите си

Разгледани са линейните мотори, като нова технология за линейно задвижване с все по-голямо приложение. Днес изискванията към линейните задвижвания са все по-високи отколкото когато и да било. По-бързо преместване, по-точно позициониране, по-дълъг живот, по-малко поддръжка, по-малко движещи се части, списъкът никога не приключва. Всички компании се стремят да удовлетворят и надминат тези изисквания чрез непрекъснат технологичен напредък. Линейни мотори осигуряват уникална скорост, ускорение и висока точност на позициониране. Линейните мотори осигуряват директно движение и се премахват устройствата за механично предаване на движението (СВД).

За целите на проектирането на нова специализирана металообработваща машина са разгледани и изискванията на купувачите към параметрите на машината, на които трябва да отговаря тя.

На база анализа на публикуваните в литературата материали, имащи връзка с темата на дисертацията са изведени следните цел и задачи, които трябва да се постигнат и решат при разработването на дисертационния труд:

Цел:

Проектиране и изследване на металообработващ център обслужван от високоскоростни линейни работи за фрезование на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Задачи:

1. Виртуално проектиране и определяне параметрите на възлите на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки, отговарящ на следните изисквания:

- Машината да се обслужва от един оператор.
 - Машината да е окомплектована със: станция “Зареждане”; станция “Фрезоване”; станция “Маркиране”; станция “Почистване”; станция “Полиране”; станция “Разтоварване в палети” и манипулатор, който да:transportира, зарежда, разтоварва и позиционира ключовите заготовки обслужвайки работните станции.
 - Машината да е с възможност за обработка на различни заготовки, при максимално време за пренастройка 15 [min.].
 - Технологичния такт да е максимално 10 [s] по зададен образец, с който определят технологичния такт.
 - Точност на обработката на функционалните размери на изделията ± 0.01 [mm].
2. Виртуално симулиране на моделирания модел за: откриване наличие на колизии, определяне на транспортните скорости и работните скорости на манипулатора, който: transportира, зарежда, разтоварва и позиционира ключовите заготовки обслужвайки работните станции. Валидиране на виртуално проектирания модел.
3. Изследване параметрите на машината за профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки в реални условия с физически модел:
- Транспортни скорости на обслужващия манипулатор.
 - Работни скорости на обслужващия манипулатор.
 - Повторяемост на позициониране на обслужващия манипулатор.
 - Точност на позициониране на обслужващия манипулатор.
 - Износване на инструмента и качеството на обработваните повърхнини.
 - Производителност на машината.

В следващи страници ще разгледам поставените по-горе въпроси при проектирането на нова специална машина за фрезоване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип „вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Глава 2. Виртуално проектиране и определяне параметрите на възлите на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Във Глава 2 са описани проектните техническите параметри на машината определени при виртуалното проектиране на възлите на машина за

нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки. Проектирането е извършено със *Solid Works* (3D CAD система). Проектирането на машината се извършва в съответствие с техническото задание на клиента и съответната техническа документация на обработваните заготовки. В съответствие с действащите Европейски закони и стандарти, машината е снабдена със защитни устройства срещу случайни движения или достъпа на неквалифициран персонал в работната област.

2.1. Създаване на конфигурация на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

Машината е изградена на модулен принцип, като всеки модул ще изпълнява специфични за конкретното работно място функции.

Като основни модули и системи включени в изграждането на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки са:

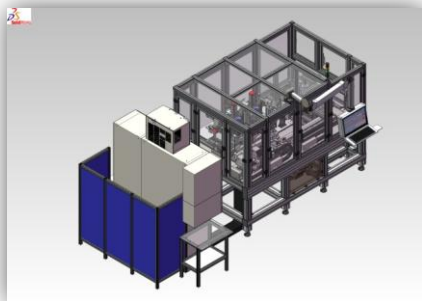
- Работна станция Зареждане - Станция 1.
- Работна станция Фрезоване № 1 - Станция 2.1.
- Работна станция Фрезоване № 2 - Станция 2.2.
- Работна станция Маркиране - Станция 3.
- Работна станция Почистване - Станция 4.
- Работна станция Полиране - Станция 5.
- Работна станция Палети - Станция 6.
- Линеен манипулатор, който транспортира, зарежда, разтоварва и позиционира ключовите заготовки обслужвайки работните станции.
- База (корпус) и защитни елементи на машината.

На фиг. 2.1.2. са дадени разстоянията между работните станции, като те са определени спрямо възможността всеки модул да бъде обслужван и сервизиран, а също така и да е с възможно най-малки габаритни размери.

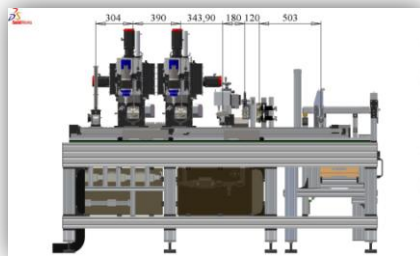
Технически параметри на „Машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки” (проектни):

Табл. 2.1

Габаритни размери (прибл.):		
	– А(дължина)	4560 [mm]
	– В(широчина)	2520 [mm]
– С(височина)	2450 [mm]	
Тегло без ел. табло (прибл.):	1800 [kg]	



Фиг. 2.1.1. 3D модел на „Машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки ”



Фиг. 2.1.2. 3D модел на „Виртуална конфигурация на машината със разстоянията между модулите на машината

2.2. Работна станция Зареждане - Станция 1

Работна станция “Зареждане” е универсално подаващо устройство за ключови заготовки. Станцията е оборудвана със сменяеми слайдери (подаващи плъзгачи) и магазини за съответните модели ключови заготовки. Всеки магазин е с вместимост 140 броя ключови заготовки, които се поставят ръчно във вертикални направляващи устройства. Време за подаване на ключ – 0.8 [s].

2.3. Работна станция Фрезоване - Станция 2

Предназначена е да осигури правилно позициониране на ключовата заготовка в челюстите на машинното менгеме и да фрезова секретностите в съответствие със заданието за избрания модел с точност на обработката на функционалните размери на изделията ± 0.01 [mm]. Проектирана и изработена като самостоятелен модул - фреза с 4 CNC оси (X , Y , Z и B – въртяща).

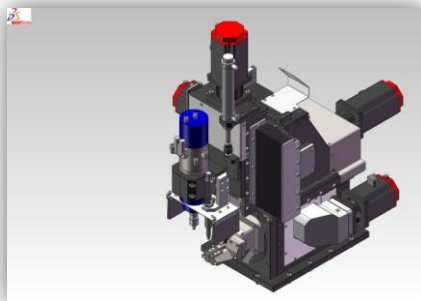
Станция Фрезоване е съставена от следните основни компоненти:

2.2.1. Фрезоващ модул – с 4 CNC оси (X , Y , Z и B – въртяща).

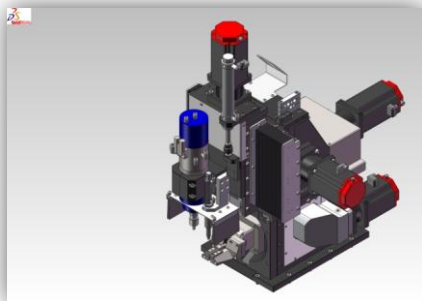
Движението по X , Y и Z оси се осъществява от СВД на Rexroth Bosch Group, с гайки с предварителна стегнатост.

Направляващите са изпълнение с голям размер ролки на РМ – BEARINGS B.V. - USA, с монтирани чистачи на късата направляваща, неръждаема стомана на релсите и ролките, със сепаратори.

СВД се задвижват от сервомотори от серията Beta iS на FANUC.



Фиг. 2.3.1. 3D модел на Станция „Фрезование” №1



Фиг. 2.3.3. 3D модел на Станция „Фрезование” № 2

2.2.2. Самоцентриращо се машинно менгеме

Машинното менгеме е самоцентриращо се, с пневматично задвижване и е монтирано към въртящия механизъм - ос В. Към него са монтирани челюсти с профилни вложки. Вложките са комплект от лява и дясна – за фрезование на ключове с широчина на работната част за съответните заготовки.

2.2.3. Високо оборотен шпиндел

Мощният, високо оборотен шпиндел на JAGER – Германия, е монтиран над работната зона на фрезоващата станция. Максималните обороти на шпиндела са 40 000 [rpm]. Управлението и хранването на шпиндела се осъществява от честотен конвертор. Шпинделът е с водно охлаждане осигурявано от охлаждащ агрегат от серията HRS на SMC със затворена циркулация на охлаждащата течност.

2.2.4. Фиксиращ механизъм

Механизъм с пневматично задвижване посредством пневм. цилиндър на SMC, който притиска ключовата заготовка към съответната базова повърхнина на затварящите се челюсти на менгемето, осигурявайки правилно позициониране на заготовката в процеса на фиксиране на заготовката между челюстите.

2.2.5. Система за проверка на режещия инструмент

Механичната част на системата е разположена близо до зоната на фрезование. Измерването се извършва с помощта на датчик за контрол на инструменти за CNC машини на Metrol - Япония.

Технически параметри на работна станция Фрезование (проектни): Табл. 2.4

Тегло (прибл.)	180	[kg]
Ход по X ос	70	[mm]
Ход по Y ос	45	[mm]

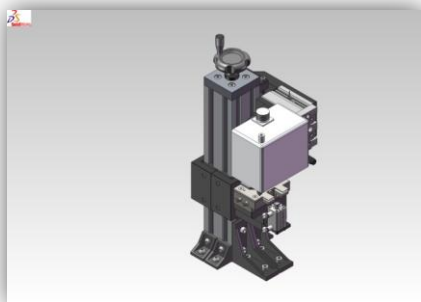
Ход по Z ос	65	[mm]
Максимална скорост по осите	12/200	[m/min]/[mm/s]
Точност на позициониране	± 0.012	[mm]
Повторяемост	0.01	[mm]
Време за обработка на ключ (6 секрета на 2 реда за страна)	6.1	[s]

За постигане на максимална производителност на машината и постигането на технологичен такт 10 [sec.](максимално) е необходимо фрезването да се извършва от две фрези – Станция Фрезование №1 и Станция Фрезование №2, които са наредени в определена последователност.

2.4. Работна станция Маркиране - Станция 3

Станция Маркиране се състои от четири отделни устройства, обособени като самостоятелен модул интегриран към машината.

Предназначена е да маркира символи върху главата на ключа след операция фрезование по задание изпращано към управлението на станцията от компютъра на машината.



Фиг. 2.4.1. 3D модел на Станция „Маркиране“

2.4.1. Машина за маркиране производство на фирма Technifor

Маркиращо устройство е със CNC управление за шамповане на определен брой символи (букви или цифри) върху главата на ключа, според кода, който компютърът предава на устройството. Маркирането е тип “ямково” и се осъществява посредством пневматично задвижвана игла.

2.4.2. Устройство за позициониране и фиксиране на ключа

Това е специално менгеме със самоцентриращи челюсти, които се затварят след поставянето на ключа в работната зона и пневматична опора за главата на ключа, осигуряваща високо качество и минимален шум при маркиране. Пневматичният упор се задейства от пневматичен цилиндър.

2.4.3. Приспособление за регулиране на височината на менгемето

Това устройство е асемблирано като колона от алуминиев профил с вграденият в нея винтов позициониращ механизъм.

Към колоната се монтират супорта и маркиращата машина.

2.4.4. Устройство за смяна на позицията на маркиращата глава

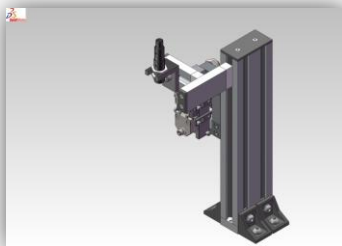
Маркиращата глава може да смени позицията си посредством пневматичната транспортна маса (SMC) с ход до 10 мм, чрез което се постига увеличаване на обхвата на маркиране на маркиращата глава.

Технически параметри на работна станция Маркиране - Станция 3: Табл. 2.6

Тегло (прибл.)	20.70	[kg]
Време за маркиране на ключ (2 реда по 8 символа на ред)	3.8	[s]

2.5. Работна станция Почистване - Станция 4

Почистваща станция е предназначена за почистване (премахване на образувалия се чепак в следствие на фрезозването на ямковият секрет) чрез обстъргване на различни профили на ключове предназначени за ключалки с висока секретност.



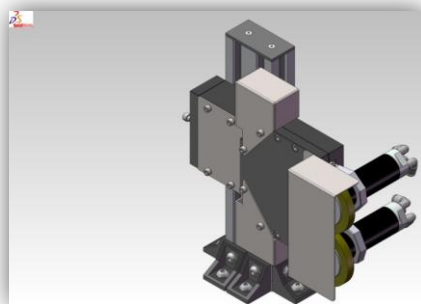
Фиг. 2.5.1. 3D модел на Станция „Почистване“

Технически параметри на работна станция Почистване - Станция 4 (проектни): Табл. 2.7

Тегло (прибл.)	5.5	[kg]
Време за почистване на ключ	0.72	[s]

2.6. Работна станция Полиране - Станция 5

Мощен инструмент за повторно почистване (полиране) на работната част на ключове с различни профили посредством въртящи се в противоположни посоки четки, задвижвани от пневматични двигатели на Atlas. Полирането се извършва след прошиването.



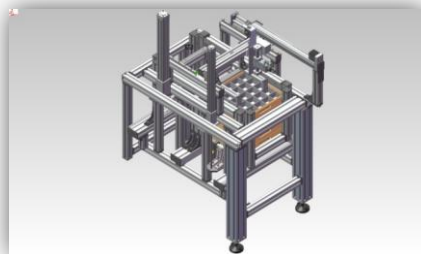
Фиг. 2.6.1. 3D модел на Станция „Полиране“

Технически параметри на работна станция Полиране - Станция 5 (проектни): Табл. 2.8

Тегло (прибл.)	8.7	[kg]
Време за полиране на ключ	0.72	[s]

2.7. Работна станция разтоварване в Палети - Станция 6

Тази работна станция е предназначена да поеме от линейния манипулатор и да разпредели по предварително задание готовите ключове.



Фиг. 2.7.1. 3D модел на Станция „Палети”

Технически параметри на работна станция Палети - Станция 6
(проектни):

Табл. 2.9

Тегло (прибл.)	190	[kg]
Максимален брой палети	5	
Максимален брой ключове в един палет	150	
Време за разтоварване на ключ	2.5	[s]
Време за разтоварване на ключ при преместване на палет	6	[s]

2.8. Линеен манипулатор (линеен робот)

Линейния робот извършва всички манипулации (транспорт, зареждане, разтоварване, позициониране на ключовата заготовка) обслужвайки работните станции на машината.

В основата на този робот е технологията на FANUC за реализация на задвижвания с линейни сервомотори.



Фиг. 2.8.1. 3D модел на „Линеен манипулатор”

2.7.1. Линеен манипулатор 1

Първи линеен манипулатор обслужва зареждащата станция и работна станция едно (станция фрезование №1), като транспортира ключовата заготовка от станция зареждане до станция фрезование № 1, при което го установява в менгемето. Извършва линейно движение по X - управляем линеен мотор.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 1” (проектни): Табл. 2.10

Тегло без линеен двигател (прибл.):	14.40	[kg]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 1	1200	[mm/s]

2.7.2. Линеен манипулатор 2

Втори линеен манипулатор обслужва двете фрезоващи станции, като транспортира ключовата заготовка от станция фрезоване №1 до станция фрезоване № 2, при което го установява в менгемето.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 2” (проектни): Табл. 2.11

Тегло без линеен двигател (прибл.):	14.30	[kg]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 1	1200	[mm/s]

2.7.3. Линеен манипулатор 3

Трети линеен манипулатор е снабден с два операционни модула носещи два отделни хващача. Обслужва станция фрезоване № 2, станция маркиране, станция почистване, станция полиране и станция разтоварване в палети. Всеки от операционните модули извършва линейно движение по X – посредством обща платформа и управляем линеен мотор.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 3” (проектни): Табл. 2.12

Тегло без линеен двигател (прибл.):	19.70	[kg]
Разстояние между хващач 3 и хващач 4	118.5	[mm]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 3	0.7	[s]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 4	0.72	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 1	1200	[mm/s]

2.9. База (корпус) и защитни елементи на машината

Базата (корпусът) и защитните елементи са изработени елементи на Модулна система **Robotunits**. Машината е снабдена с метални и прозрачни, пластмасови предпазители и капаци, съгласно действащите европейски и международни норми за безопасност и защита от влиянието на околната среда.



Фиг. 2.9.1. 3D модел на „Базата (корпуса) на машината”

Изводи от Глава 2.:

1. На базата на симулационното модулиране на отделните станции на обработващия център са определени препоръчителните работни времена за постигане на максимална производителност:
 - За станция Зареждане – 0.8 [s];
 - За станция Фрезование – 6.1 [s];
 - За станция Маркиране – 3.8 [s];
 - За станция Почистване – 0.72 [s];
 - За станция Полиране – 0.72 [s];
 - За станция Палети – 2.5 [s], при преместване на палет 6 [s].
2. За постигане технологичен такт макс. 10 [s] е необходимо използване на втора станция Фрезование.
3. Времената на станция Почистване и станция Полиране са свързани със времето за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 4 на линеен манипулатор 3. При промяна на скоростта на преместване или на разстоянието това време ще се променя.
4. Разстоянията между обработващите модули са съобразени така, че да могат да бъдат обслужвани и сервизирани, и машината да е с минимални габаритни размери.
5. Разстоянията между модулите на „Машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки”:
 - между станция Зареждане и станция Фрезование № 1 – 304 [mm];
 - между станция Фрезование № 1 и станция Фрезование № 2 – 390 [mm];
 - между станция Фрезование № 2 и станция Маркиране – 343.9 [mm];
 - между станция Маркиране и станция Почистване – 180 [mm];
 - между станция Почистване и станция Полиране – 120 [mm];
 - между станция Полиране и станция Палети – 503 [mm];
 - между хващач 3 и хващач 4 на линеен манипулатор 3 – 118.5 [mm].
6. Максимални допустими скорости на линеените манипулатори
 - максимална допустима скорост на линеен манипулатор 1 – 1200 [mm/s].
 - максимална допустима скорост на линеен манипулатор 2 – 1200 [mm/s].
 - максимална допустима скорост на линеен манипулатор 3 – 1200 [mm/s].

Глава 3. Теоритично определяне на технологичния такт. Определяне на скоростта на линейните манипулатори. Избор на линейни мотори.

В Глава 3 са представени теоритичното определяне на технологичния такт, определянето на скоростта на линейните манипулатори и избора на линейни мотори. Тук е разгледан Линеен манипулатор 1, във дисертационния труд са разгледани и Линеен манипулатор 2 и Линеен манипулатор 3.

3.1. Теоритично определяне на технологичния такт. Определяне на времената за транспортиране на заготовките от линейните манипулатори.

За да се осигури възможност за конструктивно реализиране на набелязаната последователност на операциите, т.е. да е възможно автоматизирането на работните и спомагателните манипулации, необходими за осъществяването на производствения процес, се налага съставянето на технология изразяваща се в следната последователност. При технологията за обработване с автоматични комплекси е необходимо да се постигне синхронност за извършване на операциите.

След определяне последователността на обработката, работните времена на основните манипулации и оптималната компоновка на автоматичния комплекс е необходимо да определим и времената на спомагателните манипулации като сме ограничени от технологичния такт за обработката на една заготовка, както следва.

„време на работен цикъл” – $t = 10$ [s]

Работните времена на основните работни станции и на някои спомагателни манипулации са определени.

„време за обработка на ключ от едната страна (2 реда по 6 ямки) на станция фрезование №1” – $t_{фр.1} = 6.1$ [s]

„време за позициониране на хващача на линеен манипулатор 1 в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение” – $t_{хв.1} = 1.6$ [s]

От компоновката на машината и разположението на станциите една спрямо друга можем да определим и разстоянията, които ще изминават линейните манипулатори:

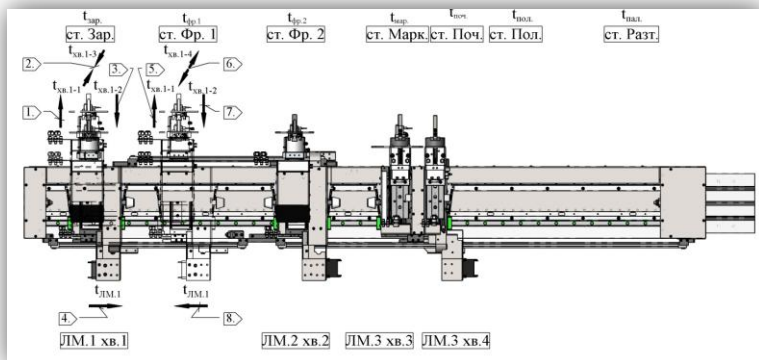
„разстояние между станция Зареждане и станция Фрезование №1” – $s_{лм.1} = 304$ [mm]

Остава да се определят неизвестните работни времена на транспортиране на заготовките от линейните манипулатори:

„време за транспортиране на ключ от станция зареждане до станция фрезование 1 (линеен манипулатор 1)” – $t_{\text{ЛМ.1}} = ?$ [s]

3.1.1. Определяне работния цикъл и времената на линеен манипулатор 1

Линеен манипулатор 1 взема ключ от станция зареждане, транспортира го до станция фрезование №1, разтоварва го във захващащ механизъм на фрезата и се връща в изходна позиция, позиционира се пред зареждаща станция. Обработката на фрезата започва при връщане в начално положение на хващача на линеен манипулатор 1.



Фиг. 3.1.1. Схема на работния цикъл на линеен манипулатор 1

На схемата на работния цикъл на линеен манипулатор 1 (фиг. 3.1.1.) е показано движението, който извършва манипулатора по време на работния цикъл.

Последователността на действията е както следва:

1. поз. – позициониране на хващача в предно положение, за вземане на ключ от станция зареждане ($t_{\text{хв.1-1}}$).

2. поз. – захващане на ключа, чрез затваряне на челюстите на паралелен хващач 1 ($t_{\text{хв.1-3}}$).

3. поз. – позициониране на хващача в изходна позиция за транспортиране на ключа ($t_{\text{хв.1-2}}$).

4. поз. – транспортиране на ключа пред станция фрезование №1 ($t_{\text{ЛМ.1}}$).

5. поз. – позициониране на хващача в предно положение, за разтоварване на ключ в работна станция фрезование №1 ($t_{\text{хв.1-1}}$).

6. поз. – разтоварване на ключа, чрез отваряне на челюстите на паралелен хващач 1 ($t_{\text{хв.1-3}}$).

7. поз. – позициониране на хващача в изходна позиция за транспортиране ($t_{\text{XB.1-2}}$).

8. поз. – транспортиране на манипулатора пред станция зареждане ($t_{\text{ЛМ.1}}$).

Работна станция фрезование 1 започва обработката на ключа след извършване на позиция 7 (позициониране на хващача в изходна позиция за транспортиране).

Времето за подаване на ключова заготовка от станция зареждане ($t_{\text{зар.}}$) е равно на времето за позициониране на хващача на линеен манипулатор 1 в предно положение ($t_{\text{XB.1-1}}$). Поради тази причина не се взема под внимание при изчисленията на времето на работния цикъл, тъй като се извършват едновременно.

Времето за връщане на линеен манипулатор 1 пред станция зареждане ($t_{\text{ЛМ.1}}$), не се взема под внимание при изчисленията на времето на работния цикъл, защото се извършва по време на обработка на ключа от станция фрезование №1 ($t_{\text{фр.1}}$) и се включва в него.

В работния цикъл на линеен манипулатор 1, който е равен на работния цикъл на машината влизат: позициониране на хващача в предно положение, за вземане на ключ от станция зареждане ($t_{\text{XB.1-1}}$); захващане на ключа, чрез затваряне на челюстите на паралелен хващач 1 ($t_{\text{XB.1-3}}$); позициониране на хващача в изходна позиция за транспортиране на ключа ($t_{\text{XB.1-2}}$); транспортиране на ключа пред станция фрезование №1 ($t_{\text{ЛМ.1}}$); позициониране на хващача в предно положение, за разтоварване на ключ в работна станция фрезование №1 ($t_{\text{XB.1-1}}$); разтоварване на ключа, чрез отваряне на челюстите на паралелен хващач 1 ($t_{\text{XB.1-3}}$); позициониране на хващача в изходна позиция за транспортиране ($t_{\text{XB.1-2}}$); време за обработка на ключ от едната страна (2 реда по 6 ямки) на станция фрезование №1 ($t_{\text{фр.1}}$).

Работния цикъл на линеен манипулатор 1 се изразява чрез следната зависимост:

$$\begin{aligned}t_{\text{XB.1-1}} + t_{\text{XB.1-3}} + t_{\text{XB.1-2}} + t_{\text{ЛМ.1}} + t_{\text{XB.1-1}} + t_{\text{XB.1-4}} + t_{\text{XB.1-2}} + t_{\text{фр.1}} &= t \\0.7 + 0.2 + 0.7 + t_{\text{ЛМ.1}} + 0.7 + 0.2 + 0.7 + 6.1 &= 10 \\t_{\text{ЛМ.1}} &= 10 - (0.7 + 0.2 + 0.7 + 1.6 + 0.7 + 0.2 + 0.7) = 10 - 9.3 = 0.7 \\t_{\text{ЛМ.1}} &= 0.7 \text{ [s]}\end{aligned}$$

3.1.2. Определяне работния цикъл и времената на линеен манипулатор 2

3.1.3. Определяне работния цикъл и времената на линеен манипулатор 3

От съставения технологичен цикъл в изразената последователност са определени времената на трите линейни манипулатора за определените дистанции съобразно компоновката на машината, на които трябва да се предвижат:

- Линеен манипулатор 1 трябва да се премести на разстояние 304 [mm] за 0.7 [s];
- Линеен манипулатор 2 трябва да се премести на разстояние 390 [mm] за 0.7 [s];
- Линеен манипулатор 3 трябва да се премести на:
 - разстояние 343.9 [mm] за 0.3545 [s];
 - разстояние 61.5 [mm] за 0.0634 [s];
 - разстояние 120 [mm] за 0.1236 [s];
 - разстояние 503 [mm] за 0.5185 [s].

3.2. Определяне скоростите и ускоренията на линейните манипулатори чрез виртуално симулиране на 3D модела.

Чрез виртуално симулиране на модела има възможност още в най-ранния етап на проектиране да се генерират множество варианти, като се отчетат и всички фактори, оказващи влияние върху нормалната работа чрез симулирането им във времето. В резултат на такова изследване се получава пълна представа както за функционирането на комплекса като цяло, така и за структурните му компоненти.

Чрез симулирането можем да установим наличие на колизии по време на движение на отделните манипулатори. Скоростите и ускоренията на отделните манипулатори, с които ще извършим и по-точен избор на линейни мотори.

При вече уточнен цикъл, който включва всички време на изпълнителните механизми и разстояния между отделните възли можем да направим симулационния модел.

Задавани параметри при 3D симулирането:

Табл. 3.1

	Обяснение
<i>Mass</i>	Маса на обектите
<i>Motor type</i>	Задействаща сила (ротационно или ленеино движение)
<i>Component Direction</i>	Посока на движение на детайла
<i>Motion</i>	Закона за движение и начина на движение (преместване, ускорение или скорост)
<i>Trigger</i>	Задаване на последователността на изпълнение на отделните движения
<i>Action</i>	Състояние на мотора (включен, изключен или променлив)

<i>Value</i>	Разстоянието на движение
<i>Duration</i>	Време за преместване на зададеното разстояние
<i>Profil</i>	Закона, по който се извършва преместването
<i>Gravity</i>	Задаване действието на гравитационните сили и тяхното направление
<i>Contact</i>	Сили на триене във контактните повърхнини

Преди извършване на виртуалната симулация 3D модела е опростен, да намалим времето за симулация и по-лесно манипулиране със подвижните елементи.

Опростяването се изразява в разделяне на отделните подвижни възли и съхраняването на всеки възел като отделна единица *Part*. По този начин елементираме направените връзки при изграждането на отделните подвижни възли, което опростява значително пресмятанията на преместването, което извършват. Необходимата изчислителна мощ и времето за изчисления намаляват.

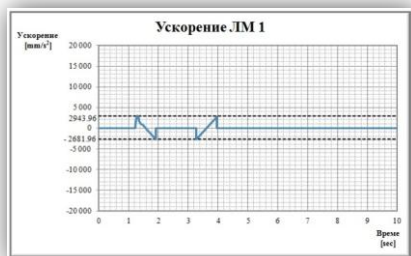
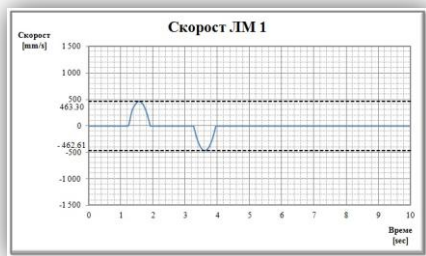
Въвеждането на параметрите за симулацията са представени стъпка по стъпка в дисертационни труд със обяснения и фигури. Тук са представени резултати от виртуалното симулиране на обектите.

Изведените резултати скорости и ускорения на трите линейни манипулатора, са представени на фиг. 3.2.23.

Всички графики са експортирани в Excel и са определени максималните скорости и ускорения на линейните манипулатори. Тъй като тук разглеждаме Линеен манипулатор 1 са представени само неговите резултати.



Фиг. 3.2.23. Резултати от симулацията



Фиг. 3.2.24. Скорост от симулацията на ЛМ 1 **Фиг. 3.2.25. Ускорение от симулацията на ЛМ 1**

Анализ и изводи на получените резултати при виртуалното симулиране на линейните манипулатори от графиките фиг. 3.2.23 до фиг. 3.2.31:

Максималната скорост на линеен манипулатор 1 при зададената дистанция 304 [mm] и време за ускорениеи спирание 0.7 [s] е 463.30 [mm/s] (време-скоростна графика фиг. 3.2.24). Тази скорост се постига при максимално ускорение 2943.46 [mm/s²] (време-ускорителна графика фиг. 3.2.25).

За линеен манипулатор 1, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спирание:

- Работна скорост на линеен манипулатор 1 – 470 [mm/s].
- Ускорение на линеен манипулатор 1 – 3000 [mm/s²].

Максималната скорост на линеен манипулатор 2 при зададената дистанция 390 [mm] и време за ускорениеи спирание 0.7 [s] е 593.48 [mm/s] (време-скоростна графика фиг. 3.2.26). Тази скорост се постига при максимално ускорение 3440.47 [mm/s²] (време-ускорителна графика фиг. 3.2.27).

За линеен манипулатор 2, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спирание:

- Работна скорост на линеен манипулатор 2 – 600 [mm/s].
- Ускорение на линеен манипулатор 2 – 3500 [mm/s²].

Максималната скорост на линеен манипулатор 3 при зададената дистанция 503 [mm] и време за ускорениеи спирание 0.5185 [s] е 939.85 [mm/s] (време-скоростна графика фиг. 3.2.28). Тази скорост се постига при максимално ускорение 18793.78 [mm/s²] (време-ускорителна графика фиг. 3.2.29).

За линеен манипулатор 3, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спирание:

- Работна скорост на линеен манипулатор 3 – 940 [mm/s].

– Ускорение на линеен манипулатор 3 – 19000 [mm/s²].

3. 3. Избор на линейни мотори.

Възможността за сигурно транспортиране на детайлите при автоматичното им обработване може да се окаже съществена при компановката на автоматичните комплекси и създаването на транспортни системи. Необходимо е сигурно транспортиране на детайли при запазване на положението и качеството им. Не се допускат никакви отклонения по отношение на възможността за автоматично транспортиране.

Линейни мотори осигуряват уникална скорост, ускорение и висока точност на позициониране. Линейните мотори осигуряват директно движение и се премахват устройствата за механично предаване на движението (СВД).

За нормалната експлоатация на всеки механизъм е необходимо да се избере по методика предлагана от фирмата производител, по този начин сме сигурни, че ще подберем правилните задвижвания и компоненти.

Избирам да използвам линейни мотори на „Fanuc”, като основните причини за този избор са:

- водещ производител в света на серво мотори;
- съвместимост с управлението на серво моторите на фрезовите станции и „Master CNC” системата, които са „Fanuc”;
- по-добри технически параметри на линейните мотори в сравнение с конкурентните.

За избора на линейни мотори използвам методиката и данните на линейни мотори на „Fanuc” – Япония [9]. Всички формули за избор и данни на линейни мотори на „Fanuc” са въведени във таблица на Excel, където много бързо и лесно може да се извърши избора на подходящ линеен мотор, като се въведат входни данни на задвижваното устройство.

Критерии към линейните мотори при техния избор:

- един мотор да задвижва един линеен манипулатор;
- да се премества мотора, постоянните магнити да са фиксирани;
- да са със въздушно охлаждане;
- един мотор да премества масата на един линеен манипулатор;
- да достигат желаната максимална скорост;
- дължината на магнитната основа да е съобразена с хода на преместването;
- магнитната основа да е от един тип постоянни магнити;
- да има достатъчно капацитет за изпълнение на зададения цикъл.

Като за входни данни използваме данните, които имаме от виртуалното моделиране и симулиране: разстояния на преместване; маса на

линейните манипулатори (без мотори); максимална скорост; ускорения; цикъл на линейните манипулатори. Трябва да се съобразим с това, че се движат по един релсов път и магнитните основи трябва да са от един и същ тип.

Таблицата за избор на линеен мотор е разделена на няколко участъка, в които се въвеждат постепенно входните данни.

Изисквания при избор на линеен мотор за линеен манипулатор 1:

– Конфигурация на линеен мотор за линеен манипулатор 1 (въвеждат се данни свързани с линейния мотор) (фиг. 3.3.1):

- Тип линеен мотор: Lis600A1/4 (200V);
- Брой мотори: един;
- Движение на: мотора;
- Датчик за полюс: без;
- Дължина на магнитната основа: без разстояние за движение

по инерция;

- Охлаждане: въздух;
- Сила на привличане: без компенсиран;
- Посока на преместване: хоризонтално;
- Въздушна междина: 0.7 [mm];
- Контрол на времезакъснението: 0,05 [s].

– Във следващия участък се въвеждат входни данни получени при проектирането и симулирането на линеен мотор за линеен манипулатор 1 (фиг. 3.3.1):

- Маса за преместване без мотор: 14.4 [kg];
- Противодействаща сила: 0 [kg];
- Режеща сила: 0 [kg];
- Пренатяг на лагерирането: 0 [kg];
- Други външни сили: 5 [kg];
- Коефициент на триене: 0.02;
- КПД: 0.9;
- Максимална дистанция на преместване: 304 [mm];
- Скорост: 1.2 [m/s];
- Ускорение: 3 [m/s²].

Линеен манипулатор 1		
Конфигурация на линеен мотор		
Избор линеен мотор	Lis600A1/4 (200V)	
Маса на линеен мотор [kg]		1,5
Магнитна претегляща сила [N]		1500
Брой мотори:	Един	
Движение на:	Мотора	
Датчик за полос:	Без датчик	
Маса на датчик за полос [kg]		0
Дължина на магнитната основа:	Без разстояние за движение по инерция	
Начин на охлаждане:	С въздух	
Маса на охлаждането на мотора [kg]		0
Сили на привличане:	Без компенсиране	
Наклон на движение:	Хоризонтално	
Ъгъл на наклона на движение [°]:		
Ъгъл на наклона на движение [°]:		0
Въздушна междина, номинална=0,5 [mm]		0,7
Изчислена магнитна сила на привличане [N]		1008
Съотношение на силите [%]		96,77
Контрол на времезакъснението t1+t2 [sec]		0,05
Номинална мощност - Pcont. [kW]		0,2
Максимална мощност - Pmax. [kW]		2,3
Номинален ток - Icont. [Arms]		3,4
Максимален ток - Imax. [Arms]		17
Спецификация на линеен мотор и драйвер	Брой	Тип
A06B-0442-B200/0000	1	Lis600A1/4 (200V)
A06B-6117-H104	1	aiSV40
Входящи данни		
Маса за преместване без мотор [kg]		14,4
Противодействаща сила [kg]		0
Режеща сила [N]		0
Пренатяг на лагеруването [N]		0
Други външни сили [N]		5
Коефициент на триене		0,02
КПД		0,9
Максимална дистанция на преместване [mm]		304
Скорост [m/s]		1,2
Ускорение [m/s ²]		3
Конусна форма на уск./спиране време [ms]		24

Фиг. 3.3.1. Избор на линеен мотор за Линеен манипулатор 1

Пресмятане дължината на магнитната основа:		
Разстояние за движение по инерция [mm]		223
Дължина на магнитната основа [mm]		437
Избор на постоянни магнити		
Спецификация на пластината	[mm]	Количество пластини [брой]
A06B-0440-B111/0002	30	
	0	
A06B-0440-B113/0002	120	4
	0	
	0	
	0	
	0	
Добре със 43mm по-голяма дължина		
Тегло на постоянните магнити [kg]		1,8
Пресметнати елементи:		
Цялата маса на преместване [kg]		16,4
Задържаща сила [N]		0
Триещи сили [N]		20
Постоянна сила [N]		120
Максимална сила [N]		581
Ускорителна сила [N]		55
Всички ускорителни сили [N]		75
Всички спиращи сили [N]		34
Време за ускоряване [s]		0,400
Дистанция за уск./спирание [mm]		253
Време за спиране и ускорение [s]		0,157
Избор на Sub Module за бързо спиране при отпадане на захранването		
Ограничаваща N(макс.) в [N]:	<input type="checkbox"/>	6050
Спецификация	Брой	Тип
A06B-6077-H002	1	Power Failure Backup Module
A06B-6077-H010	1	Sub Module C 755 [J]

Фиг. 3.3.2. Избор на линеен мотор за Линеен манипулатор 1

Във следващите графи (фиг. 3.3.2) се виждат изчислените елементи и участъка за избор на подходящи постоянни магнити, както и техния брой. Също така се избира и Sub Module, който служи за бързо спиране на моторите при отпадане на захранването.

Във следващия участък (фиг. 3.3.3) се въвежда цикъла, при който ще работи съответния мотор. Можем с голяма точност да се определи дали мотора, ще успее да изпълнява цикъла и какъв капацитет му остава до максималния му лимит. При невъзможност мотора да изпълни цикъла, може

да се избере друг линеен мотор, да се промени вида на охлаждането или да се промени цикъла.

Престъпяване на работния цикъл		
Средна сила [N]	22,79	Моторът може да се използва с този работен цикъл
До достигане на предела [%]	81,0	
Общо време на работния цикъл [s]	4,8	
Въвеждане на работен цикъл		
Скорост [mm/sec]	Време [s]	Сила [N]
Стоп	0	1,700
Ускорение	470	0,160
Постоянна скорост	470	0,370
Спиране	470	0,160
Стоп	1,700	0
Ускорение	470	0,160
Постоянна скорост	470	0,370
Спиране	470	0,160

Фиг. 3.3.3. Избор на линеен мотор за Линеен манипулатор 1

След въвеждането на цикъла на линеен манипулатор 1 се установява, че този цикъл ще може да се изпълнява и остават още 81 % запас до достигане капацитета на линейния мотор, което напълно ни удовлетворява изискванията към линейния мотор.

Изводи от Глава 3.:

1. От съставения технологичен цикъл в изразената последователност са определени времената на трите линейни манипулатора за определените дистанции съобразно компоновката на машината, на които трябва да се предвижат:

- Линеен манипулатор 1 трябва да се премести на разстояние 304 [mm] за 0.7 [s];
- Линеен манипулатор 2 трябва да се премести на разстояние 390 [mm] за 0.7 [s];
- Линеен манипулатор 3 трябва да се премести на:
 - разстояние 343.9 [mm] за 0.3545 [s];
 - разстояние 61.5 [mm] за 0.0634 [s];
 - разстояние 120 [mm] за 0.1236 [s];
 - разстояние 503 [mm] за 0.5185 [s].

2. Максималната скорост на линеен манипулатор 1 при зададената дистанция 304 [mm] и време за ускорениеи спиране 0.7 [s] е 463.30 [mm/s]. Тази скорост се постига при максимално ускорение 2943.46 [mm/s²].

3. За линеен манипулатор 1, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спиране:

– Работна скорост на линеен манипулатор 1 – 470 [mm/s].

– Ускорение на линеен манипулатор 1 – 3000 [mm/s²].

4. Максималната скорост на линеен манипулатор 2 при зададената дистанция 390 [mm] и време за ускорениеи спиране 0.7 [s] е 593.48 [mm/s]. Тази скорост се постига при максимално ускорение 3440.47 [mm/s²].

5. За линеен манипулатор 2, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спиране:

– Работна скорост на линеен манипулатор 2 – 600 [mm/s].

– Ускорение на линеен манипулатор 2 – 3500 [mm/s²].

6. Максималната скорост на линеен манипулатор 3 при зададената дистанция 503 [mm] и време за ускорениеи спиране 0.5185 [s] е 939.85 [mm/s]. Тази скорост се постига при максимално ускорение 18793.78 [mm/s²].

7. За линеен манипулатор 3, могат да се приемат приблизителни стойности за работна скорост и ускорение, които ще бъдат оптималните за определеното разстояние и определеното време за ускорение и спиране:

– Работна скорост на линеен манипулатор 3 – 940 [mm/s].

– Ускорение на линеен манипулатор 3 – 19000 [mm/s²].

8. След въвеждането на цикъла на линеен манипулатор 1 се установява, че този цикъл може да се изпълнява със линеен мотор *Fanuc Lis600A1/4 (200V)* и остават още 81 % запас до достигане капацитета на линейния мотор, което напълно удовлетворява изискванията към линейния мотор.

9. След въвеждането на цикъла на линеен манипулатор 2 се установява, че този цикъл може да се изпълнява със линеен мотор *Fanuc Lis600A1/4 (200V)* и остават още 74,6 % запас до достигане капацитета на линейния мотор, което напълно удовлетворява изискванията към линейния мотор.

10. След въвеждането на цикъла на линеен манипулатор 3 се установява, че този цикъл може да се изпълнява със линеен мотор *Fanuc Lis900A1/4 (200V)* и остават още 10,9 % запас до достигане капацитета на линейния мотор, което напълно удовлетворява изискванията към линейния мотор.

Глава 4. Реализация на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.



Фиг. 4.1. Машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки ”

Този проект е изграден от:

- ✓ Над 13 000 компонента.
- ✓ Над 1000 са уникалните компоненти.

Машината може да нарязва ключове от месинг, мелхиор, или галванично покрити с никел месингови ключове.

Машината извършва следните операции: Зареждане; Нарязване; Маркиране; Почистване на чепака посредством пакет профилни пластини; Почистване на чепака с четки; Селектирано разтоварване в палети с контейнери; Транспортиране, зареждане, разтоварване и позициониране на ключовата заготовка в отделните станции от линеен манипулатор.

Общи Параметри:

- Капацитет на зареждаща станция: 150 [бр.]
- Капацитет на палетизираща станция: 625 [бр.]
- Технологичен такт (при 24 ямкови секрета): 10 [s/бр.]
- Управляеми сервооси: 21
- Управляеми пневматични задвижвания: 33
- Инсталирана мощност (max.): 27 [kW]
- Скорост на шпинделите: регулируема 8000 ÷ 40 000 [min⁻¹]
- Габаритни размери със табло и пулт за управление:
 - А (дължина) - 4560 [mm]
 - В (дълбочина) - 2520 [mm]
 - С (височина) - 2450 [mm]

- Тегло на машината без табло: 1800 [kg]

Машината е изградена на модулен принцип, като всеки модул изпълнява специфични за конкретното работно място функции..

Основни модули и системи на машината:

- Работна станция Зареждане - Станция 1.
- Работна станция Фрезоване - Станция 2.
- Работна станция Маркиране - Станция 3.
- Работна станция Почистване - Станция 4.
- Работна станция Полиране - Станция 5.
- Работна станция Палети - Станция 6.
- Линеен манипулатор, който транспортира, зарежда, разтоварва и позиционира ключовите заготовки обслужвайки работните станции.
- База (корпус) и защитни елементи на машината.

4.1. Работна станция Зареждане - Станция 1

Работна станция „Зареждане“ (фиг. 2.1.1.) е универсално подаващо устройство за ключови заготовки. Станцията е оборудвана със сменяеми слайдери (подаващи плъзгачи) и магазини за съответните модели ключови заготовки. Всеки магазин е с вместимост 150 броя ключови заготовки, които се поставят ръчно във вертикални направляващи устройства.



Фиг. 4.1.1. Станция „Зареждане“

Технически параметри на работна станция Зареждане - Станция 1: Табл. 4.1

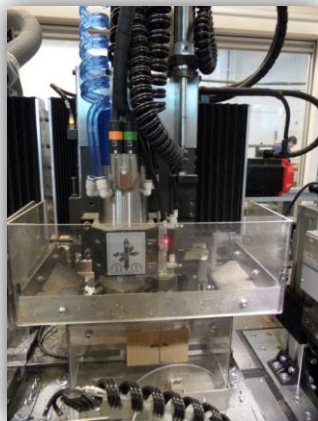
Габаритни размери: – А(дължина) – В(широчина) – С(височина): без магазин за заготовки с магазин за зоготовки	457.5	[mm]
	116	[mm]
	295	[mm]
	622	[mm]
Тегло	15.45	[kg]
Максимален брой ключове в един магазин	150	
Време за подаване на ключ	0.8	[s]

4.2. Работна станция Фрезоване - Станция 2

Предназначена е да осигури правилно позициониране на ключовата заготовка в челюстите на машинното менгеме и да фрезова секретностите в съответствие със заданието за избрания модел с точност на обработката на функционалните размери на изделията ± 0.01 [mm]. Проектирана и изработена като самостоятелен модул - фреза с 4 CNC оси (X , Y , Z и B – въртяща).



Фиг. 4.2.1. Станция „Фрезоване” № 1



Фиг. 4.2.2. Станция „Фрезоване” № 2

Станция Фрезоване е съставена от следните основни компоненти:

- 4.2.1. Фрезоващ модул – с 4 CNC оси (X , Y , Z и B – въртяща).
- 4.2.2. Самоцентриращо се машинно менгеме
- 4.2.3. Високо оборотен шпиндел
- 4.2.4. Фиксиращ механизъм
- 4.2.5. Система за проверка на режещия инструмент

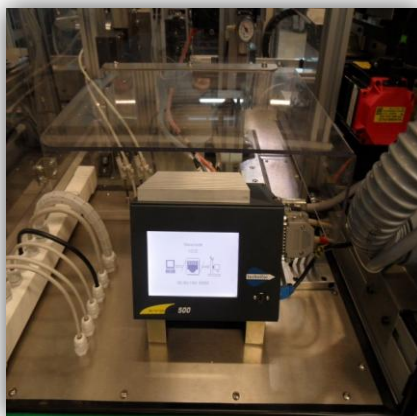
Технически параметри на работна станция Фрезоване - Станция 2: Табл. 4.3

Габаритни размери:		
	– А(дължина)	770 [mm]
	– В(широчина)	511 [mm]
	– С(височина)	808 [mm]
Тегло	186.5	[kg]
Ход по X ос	70	[mm]
Ход по Y ос	45	[mm]
Ход по Z ос	65	[mm]
Максимална скорост по осите	12/200	[m/min]/[mm/s]
Точност на позициониране	± 0.015	[mm]
Повторяемост	0.01	[mm]
Време за обработка на ключ (6 секрета на 2 реда за страна)	6.1	[s]

4.3. Работна станция Маркиране - Станция 3

Станция Маркиране се състои от четири отделни устройства, обособени като самостоятелен модул интегриран към машината.

Предназначена е да маркира символи върху главата на ключа след операция фрезование по задание изпращано към управлението на станцията от компютъра на машината.



Фиг. 4.3.1. Станция „Маркиране”

4.3.1. Машина за маркиране производство на фирма Technifor – Франция.

4.3.2. Устройство за позициониране и фиксиране на ключа

4.3.3. Приспособление за регулиране на височината на менгемето

4.3.4. Устройство за смяна на позицията на маркиращата глава

Технически параметри на работна станция Маркиране - Станция 3: Табл. 4.5

Габаритни размери: – А(дължина): при прибрана глава при изкарана глава – В(широчина) – С(височина)		
	250.7	[mm]
	260.7	[mm]
	221.30	[mm]
	512.50	[mm]
Тегло	21.2	[kg]
Време за маркиране на ключ (2 реда по 8 символа на ред)	3.8	[s]

4.4. Работна станция Почистване - Станция 4

Почистваща станция е предназначена за почистване (премахване на образувалия се чепак в следствие на фрезването на ямковият секрет) чрез обстъргване на различни профили на ключове предназначени за ключалки с висока секретност.



Фиг. 4.4.1. Станция „Почистване”

Технически параметри на работна станция Почистване - Станция 4: Табл. 4.6

Габаритни размери: – А(дължина) – В(широчина) – С(височина)	194	[mm]
	114	[mm]
	394	[mm]
Тегло	5.65	[kg]
Време за почистване на ключ	0.72	[s]

4.5. Работна станция Полиране - Станция 5

Обособена е като самостоятелен модул интегриран към машината. Елементите на станцията са монтирани към колона от алуминиев профил - Robotunits.

Мощен инструмент за повторно почистване (полиране) на работната част на ключове с различни профили посредством въртящи се в противоположни посоки четки, задвижвани от пневматични двигатели на Atlas.

Полирането се извършва след прошиването.



Фиг. 4.5.1. Станция „Полиране”

Технически параметри на работна станция Полиране - Станция 5: Табл. 4.7

Габаритни размери: – А(дължина) – В(широчина)	329.5	[mm]
	170	[mm]

– С(височина)	349	[mm]
Тегло	8.9	[kg]
Време за полиране на ключ	0.72	[s]

4.6. Работна станция разтоварване в Палети - Станция 6

Тази работна станция е предназначена да поеме от линейния манипулатор и да разпредели по предварително задание готовите ключове.

Състои се от интелигентна транспортна система от X и Y сервооси и Z пневматично задвижвана ос, към която е монтирано едно въртящо пневматично задвижване с паралелен хващач тип MRHQ на SMC.



Фиг. 4.6.1. Станция „Палети“

Технически параметри на работна станция Палети - Станция 6: Табл. 4.8

Габаритни размери: – А(дължина) – В(широчина): при прибрано чекмедже при изкарано чекмедже – С(височина)	1260	[mm]
	812	[mm]
	1358	[mm]
	1499	[mm]
Тегло	195	[kg]
Размер на палетите	398x398x64	[mm]
Максимален брой палети	5	
Максимален брой ключове в един палет	150	
Време за разтоварване на ключ	2.5	[s]
Време за разтоварване на ключ при преместване на палет	6	[s]

4.7. Линеен манипулатор (линеен робот)

Линейния робот извършва всички манипулации (транспорт, зареждане, разтоварване, позициониране на ключовата заготовка) обслужвайки работните станции на машината.

В основата на този работ е технологията на FANUC за реализация на задвижвания с линейни сервомотори. Движението по ос X се извършва от три независими линейни мотора (слайдери) движещи по един и същ релсов път съставен от линейни направляващи с каретки.



Фиг. 4.7.1. „Линеен манипулатор”

4.7.1. Линеен манипулатор 1

Първи линеен манипулатор обслужва зареждащата станция и работна станция едно (станция фрезование №1), като транспортира ключовата заготовка от станция зареждане до станция фрезование № 1, при което го установява в менгемето.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 1”:

Табл. 4.9

Габаритни размери:		
– А(дължина):		
при прибран захват	549	[mm]
при изкаран захват	649	[mm]
– В(широчина)	305	[mm]
– С(височина)	384	[mm]
Тегло без линеен двигател:	15	[kg]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 1	1200	[mm/s]

4.7.2. Линеен манипулатор 2

Втори линеен манипулатор обслужва двете фрезоващи станции, като транспортира ключовата заготовка от станция фрезование №1 до станция фрезование № 2, при което го установява в менгемето.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 2”:

Табл. 4.10

Габаритни размери:		
– А(дължина):		
при прибран захват	549	[mm]
при изкаран захват	649	[mm]
– В(широчина)	290	[mm]
– С(височина)	384	[mm]
Тегло без линеен двигател:	14.8	[kg]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 2	1200	[mm/s]

4.7.3. Линеен манипулатор 3

Трети линеен манипулатор е снабден с два операционни модула носещи два отделни хващача. Обслужва станция фрезование № 2, станция маркиране, станция почистване, станция полиране и станция разтоварване в палети.

Технически параметри на „Линеен манипулатор 3“:

Табл. 4.11

Габаритни размери:		
– А(дължина):		
	при прибран захват	536 [mm]
	при изкаран захват	636 [mm]
– В(широчина)		324 [mm]
– С(височина)		452 [mm]
Тегло без линеен двигател:	20.5	[kg]
Разстояние между хващач 3 и хващач 4	130	[mm]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 3	0.7	[s]
Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 4	0.72	[s]
Максимална допустима скорост на линеен манипулатор 3	1200	[mm/s]

4.8. База (корпус) и защитни елементи на машината

Базата (корпусът) и защитните елементи са изработени елементи на Модулна система **Robotunits**. Машината е снабдена с метални и прозрачни, пластмасови предпазители и капаци, съгласно действащите европейски и международни норми за безопасност и защита от влиянието на околната среда.

Технически параметри на „Базата (корпуса) на машината“: Табл. 4.12

Габаритни размери:		
– А(дължина)	2650	[mm]
– В(широчина):		
	с пулт за управление	2150 [mm]
	без пулт за управление	1700 [mm]
– С(височина)	2350	[mm]

Изводи от Глава 4.:

1. Няма разлика в габаритните размери на отделните възли и на машината заложили в проектната част и в реално изработената машина.
2. Габаритни размери на машината: Табл. 4.13

	Проектни:	Реални:
А (дължина)	4560 [mm]	4560 [mm]
В (дълбочина)	2520 [mm]	2520 [mm]
С (височина)	2450 [mm]	2450 [mm]

3. Местоположенията на отделните възли са изпълнени, както са заложили в проектната част.

4. Разлика в теглата на възлите изчислени при проектирането и измерените след реализацията на възлите приблизително 4%: Табл. 4.15

	Проектно тегло:	Реално тегло:	Разлика в %
Работна станция Зареждане	15 [kg]	15.45 [kg]	2.91 [%]
Работна станция Фрезование	180 [kg]	186.50 [kg]	3.49 [%]
Работна станция Маркиране	20.70 [kg]	21.20 [kg]	2.36 [%]
Работна станция Почистване	5.50 [kg]	5.65 [kg]	2.65 [%]
Работна станция Полиране	8.70 [kg]	8.90 [kg]	2.25 [%]
Работна станция разтоварване в Палети	190 [kg]	195 [kg]	2.56 [%]
Линеен манипулатор 1	14.40 [kg]	15 [kg]	4 [%]
Линеен манипулатор 2	14.30 [kg]	14.8 [kg]	3.38 [%]
Линеен манипулатор 3	19.70 [kg]	20.50 [kg]	3.9 [%]

5. Всички възли изпълняват функциите, които са заложили в проектната част.

6. Работните и транспортните ходове са изпълнени както са заложили в проектната част и могат да се изпълняват всички движения без колизии.

7. Работни времена на работните станции и линейните манипулатори е необходимо да са:

Табл. 4.15

	Проектно:	Реалн:
Работна станция Зареждане - Време за подаване на ключ	0.8 [s]	0.8 [s]
Работна станция Фрезование - Време за обработка на ключ (6 секрета на 2 реда за страна)	6.1 [s]	6.1[s]
Работна станция Маркиране - Време за маркиране на ключ (2 реда по 8 символа на ред)	3.8 [s]	3.8 [s]
Работна станция Почистване - Време за почистване на ключ	0.72 [s]	0.72 [s]
Работна станция Полиране - Време за полиране на ключ	0.72 [s]	0.72 [s]
Работна станция разтоварване в Палети - Време за разтоварване на ключ	2.5 [s]	2.5 [s]
Работна станция разтоварване в Палети - Време за разтоварване на ключ при преместване на палет	6 [s]	6 [s]
Линеен манипулатор 1 - Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6 [s]	1.6 [s]
Линеен манипулатор 2 - Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение	1.6 [s]	1.6 [s]
Линеен манипулатор 3 - Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 3	0.7 [s]	0.7 [s]
Линеен манипулатор 3 - Време за позициониране на хващача в предно положение, захващане/разтоварване на ключа и връщане в начално положение на хващач 4	0.72 [s]	0.72 [s]

Глава 5. Методика на функционалните изпитания на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

След пълната окомплектовка, направените настройки и програмиране на машината се извършиха функционални изпитания за комплексна проверка на цялостната структура.

При пускане на машината бяха:

- измерени скоростите и ускоренията на линейните манипулатори, които обслужват машината;
- измерени повторяемостта на позициите на линейните манипулатори;
- измерена точността на позициониране и повторяемостта на позициите на обработените повърхнини от фрезите станции (функционалните размери на обработваните повърхнини);
- отчетени износването на инструментите и качеството на обработените повърхнини;
- определена производителност на машината и времето за престой.

5.1. Измерване на параметрите: скорост, ускорения, точност и повторяемост на позициониране на линейните манипулатори.

5.1.1. Измерване на параметрите: скорост, ускорения, точност и повторяемост на позициониране на линейните манипулатори.

Измерването на скоростта и ускоренията на линейните манипулатори на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки “TS 8001” се извършва, за да се определи до каква степен се достигат зададените скорости и отговаря ли на симулационния модел, който е създаден при проектиране на машината. Скоростта и ускоренията влияят пряко върху времето за транспортиране и позициониране на заготовките в работните станции, което оказва влияние върху времето на цикъла, за което се обработва една заготовка.

Измервани параметри:

$V_{1\text{екс.}}$ – скорост на линеен манипулатор 1;

$V_{2\text{екс.}}$ – скорост на линеен манипулатор 2;

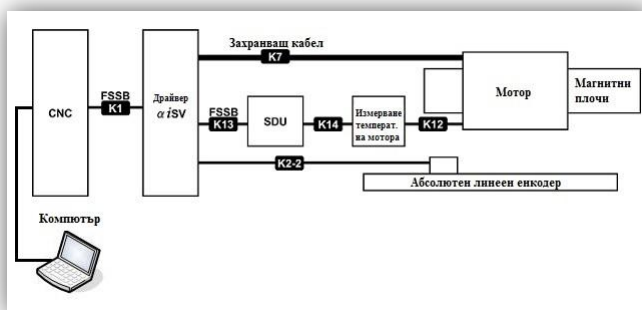
$V_{3\text{екс.}}$ – скорост на линеен манипулатор 3;

$a_{1\text{екс.}}$ – ускорение на линеен манипулатор 1;

$a_{2\text{екс.}}$ – ускорение на линеен манипулатор 2;

$a_{зекс.}$ – ускорение на линеен манипулатор 3;

Измерването на скоростите, ускоренията, точността и повторемостта на позициониране на линейните манипулатори на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки “TS 8001” се проведе във производствени условия при провеждане на 72 часови изпитания със вече определен работен цикъл на машината. Измерването е за интервал от 100 [s] след стартиране на машината в работен цикъл.



Фиг. 5.1.1. Схема на експерименталната установка

На фиг. 5.1.1. е представена схема на установката за измерването на скоростта, ускоренията и повторемост на позициите на линейните манипулатори. Установката се състои от: постоянни магнитни плочи, линеен мотор, абсолютен линеен енкадер, драйвер на линеен мотор, контролер (CNC) и компютър, чрез който се обработват данните.

Постоянните магнитни плочи са фиксирани към плоча според изискванията на фирмата производител (Fanuc), която е свързана с корпуса на машина “TS 8001”. Магнитните плочи са неподвижни. Върху плочата, на която са монтирани постоянните магнитни плочи, има монтирани две линейни направляващи на Hiwin, които се явяват общ релсов път за трите линейни манипулатора.

Линейните мотори са монтирани според изискванията на производителя (Fanuc) върху три отделни подвижни маси, върху които са монтирани и захващащите механизми. Всяка от тези подвижни маси са монтирани, върху четири броя танкети на Hiwin и се движат по релсовия път от двете линейни направляващи на Hiwin.

Всеки от манипулаторите е свързан с абсолютни линейни енкадери на Heidenhein. Корпуса на абсолютните линейни енкадери са монтирани върху

плоча според изискванията на производителя, която е свързана с корпуса на машина “TS 8001”. Четящата глава (подвижната част) на абсолютните линейни енкодери е свързана със подвижните маси и отчита преместването на манипулаторите спрямо плочата, която е свързана с корпуса на машина “TS 8001”.

Всеки линеен мотор и всеки линеен енкодер са свързани към отделни драйвери на Fanuc, които управляват преместването на линейните мотори и отчитат преместването от абсолютните линейни енкодери.

Трите драйвъра на Fanuc, който управляват линейните мотори са свързани към CNC контролер, във който е въведена програмата за изпълняване на отделните линейни манипулатори. Програмирането се извършва, чрез компютър, който е свързан към CNC контролера. Също така в CNC контролера има записани няколко програми и в зависимост от обработваните заготовки, компютъра подава информация към CNC контролера, коя програма ще е необходимо да се изпълнява. Освен за програмиране връзката между CNC контролера и компютъра служи за анализ на положението, скоростта, ускоренията и за сигнализиране при възникнал проблем.

Линеен манипулатор 1:

– линеен мотор *Fanuc Lis600A1/4 (200V)*:

Табл. 5.1

Наименование	Означение	
Начин на охлаждане	-	без охлаждане
Максимална скорост	-	4 [m/s]
Горна граница на скоростта при максимален товар	-	2.3 [m/s]
Постоянна сила	Fc	100 [N]
Максимална сила	Fp	600 [N]
Постоянна мощност	Pc	0.4 [Kw]
Максимална мощност	Pm	1.4 [Kw]
Привличане на магнита	Fa	1500 [N]
Маса	W	1.5 [kg]

– линеен абсолютен енкодер *Heidenhein LC-493F-520*: Табл. 5.2

Точност	± 5 [µm]
Измервана дължина	520 [mm]
Резолуция	0.05 [µm]
Скорост на движение	≤ 180 [m/min]; ≤ 3 [m/s]
Необходима сила за движение	≤ 5 [N]

– линейни направляващи и танкети на *Hiwin HGH25CA*: Табл. 5.3

Коефициент на триена	0.004
Сила на триене от уплътненията за брой	1.96 [N]

Стегнатост	ZA (0.05C÷0.07C)
Динамична товароносимост	17.75 [kN]
Статична товароносимост	27.76 [kN]
Маса	0.3 [kg]

- маса на линейният манипулатор 16.5 кг. (включващ масата на манипулатора и масата линейния мотор).

5.1.2. Обработка на данните.

Всички измервания на скоростите и ускоренията на линейните манипулатори бяха извършени, чрез обратната връзка на управляващия CNC контролер на *Fanuc* от серията *0i-MD* и софтуерен продукт “*Fanuc Servo Guide*”, чрез който са извлечени данните от контролера и са обработени във време-скоростни и време-ускорителни диаграми. Отчитането на преместването на линейните манипулатори се извършва на всяка милисекунда.

Чрез обратната връзка на управляващия CNC контролер на *Fanuc* от серията *0i-MD* и софтуера написан за управление на машината се отчитат положението на линейните манипулатори във всеки един момент, като се отчита с точност до 0.001 [mm]. Отчитането на точността на позициониране на линейните манипулатори се извършва след достигане на зададена позиция се отчита разликата между зададената и достигнатата позиция. Отчитането на повторемостта на позициониране се извърши след като са зададени две крайни положения на линейните манипулатори и бяха отчетени разликите след достигане на позициите няколкократно. Резултати са записани в таблици.

Получените резултати от измерването на скоростта и ускоренията са експортирани от софтуерен продукт “*Fanuc Servo Guide*” и обработени в Excel, като са отразени пиковете на скоростите и ускоренията на линейните манипулатори.

Резултатите от изследването са представени във глава 6.1., като там са дадени, както време-скоростните диаграми и време-ускорителните диаграми генерирани от софтуерен продукт “*Fanuc Servo Guide*”, така и експортираните резултати и изготвени диаграми на време-скорост и време-ускорение със тяхните пиковете в Excel.

5.2. Измерване точността на позициониране и повторемостта на позициите на обработените повърхнини от фрезевите станции

Извършихме измерване на точността на позициониране и повтораемост на обработените повърхнини от двете фрезови станции на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки “TS 8001”. Измерването се проведе при пускане на машината след завършване на монтажните работи. Тези измервания се извършват ежедневно при извършване качествен контрол на готовите изделия.

Измерванията за разположението на ямките се извърши със вертикален прицизен профилен проектор *PV 5100 – Mitutoyo* (фиг. 5.2.1.).

Технически параметри на вертикален прицизен профилен проектор *Mitutoyo PV 5100*: Табл. 5.10

ХУ – измервателна маса		319x232 [mm]
Въртящ екран	Ефективен диаметър	508 [mm]
	Материал	Финно матирано стъкло
	Референтна линия	Пресечена линия
	Обхват на индикацията	± 370°
	Точност	1' или 0.01 ° (превключване)
Система на проекционния обектив		10X
Неопределеност на увеличението		Излъчвана светлина: макс. ± 0.1% Падаща светлина :: макс. ± 0.15%
Излъчване светлина	Източник на светлина	Халогенна лампа (24V, 150 W)
	Оптична система	Телецентрична
	Функции	Висока-ниска осветеност, охлаждащ вентилатор, топлинни филтър за защита, зелен филтър (по избор)
Повърхностно осветление		24 [V], 150 [W]
Захранване		230 [V] – AC, 50/60 [Hz]
Маса		180 [kg]
Дисплей за отчитане на линейните скали		включен
Точност		0.001 [mm]

Измерването за дълбочината на ямките при настройване на машината се извърши със електронен индикаторен часовник *Insize* модел *2112-10* (фиг. 5.2.2.) със следните технически параметри: Табл. 5.11

Обхват	12.7 [mm]
Точност на едно деление	0.001 [mm]
Точност (f_{ges})	0.005[mm]
Хистерезис (f_h)	0.002[mm]

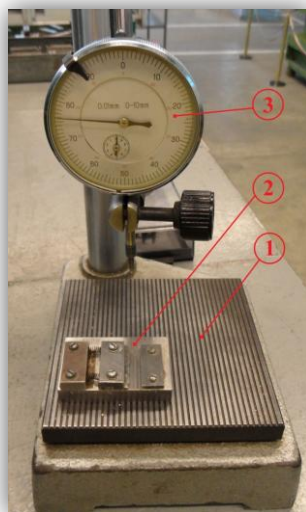


Фиг. 5.2.1. Вертикален прицелен профилен проектор Mitutoyo PV 5100



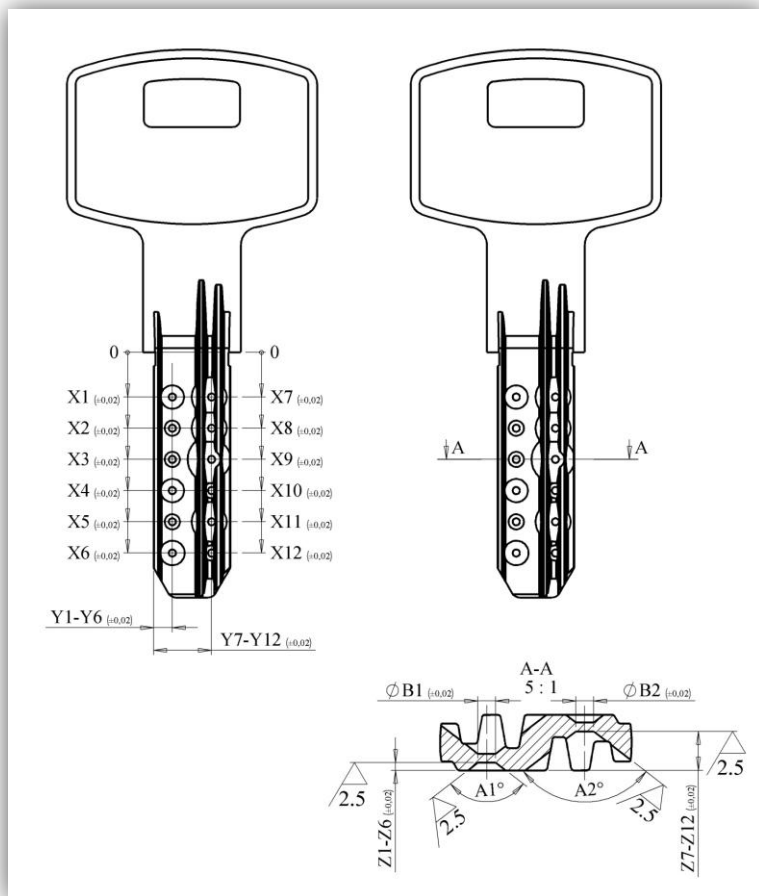
Фиг. 5.2.2. Индикаторен часовник Insize 2112-10

За измерването се използва стойка с измервателна маса (фиг. 5.2.3. – поз. 1), приспособление за фиксирание на ключовите заготовки (фиг. 5.2.3. – поз. 2) и индикаторен часовник Insize модел 2112-10 (фиг. 5.2.3. – поз. 3) (в производствени условия измерването се извършва с индикаторен часовник със точност 0.01 [mm]).



Фиг. 5.2.3. Установка за измерване дълбочината на ямите в производствени условия

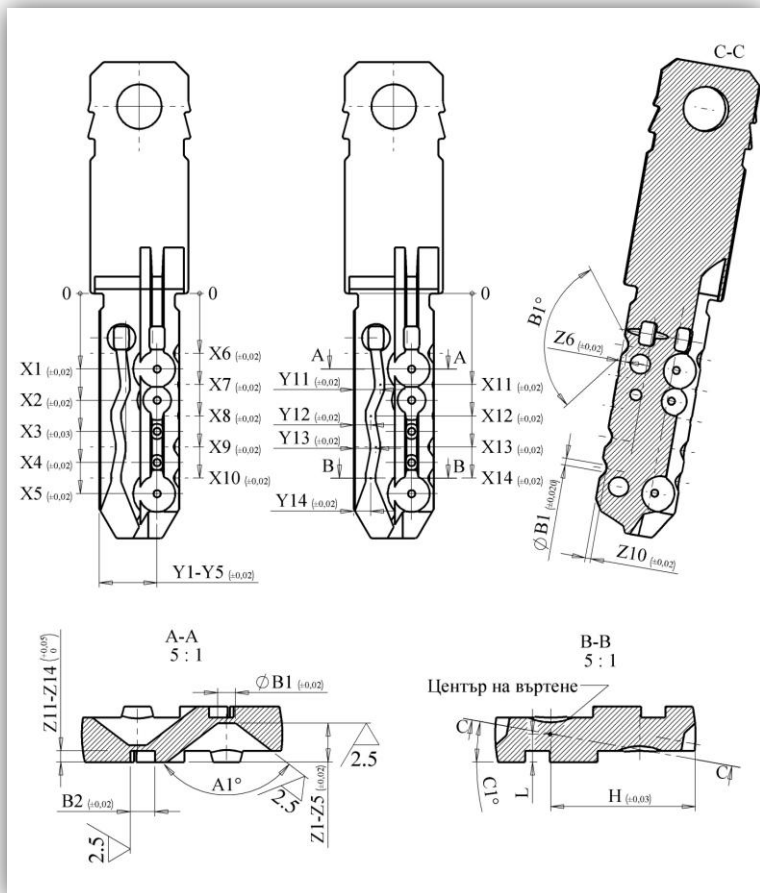
На фиг. 5.2.4. са дадени позициите по ос X, ос Y и ос Z, които са измервани. Допуска на отклоненията след обработка са ± 0.02 [mm] и по трите оси. В таблиците са отразени само отклоненията от размера на измерваните разстояния.



Фиг. 5.2.4. Позициите по ос X, ос Y и ос Z, които са измервани при „ямков секрет“

Измерването на секрет тип вълнообразен канал се извършва със точен шаблон, като в таблиците са отразени само отклоненията от размерите.

Измерването на дълбочината на „ямков секрет“, който е под определен ъгъл се извършва със специално направено приспособление, в което се поставя ключа.



Фиг. 5.2.5. Позициите по ос X, ос Y и ос Z, които са измервани при "ямков секрет" и секрет тип „вълнообразен канал“

5.2.1. Обработка на данните.

Всички измервания са отразени само отклоненията и са въведени в табличен вид в Excel.

Глава 6. Функционални изпитания машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

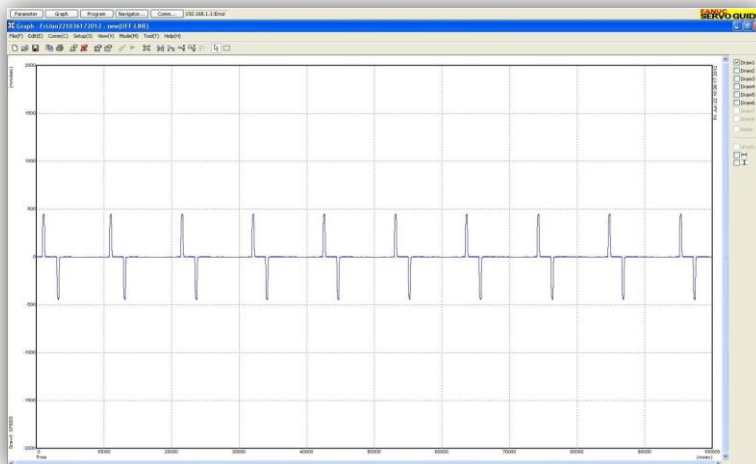
6.1. Измерване скоростите и ускоренията на линейните манипулатори.

Резултатите от изследването са представени във фигури от фиг. 6.1.1. до фиг. 6.1.14.

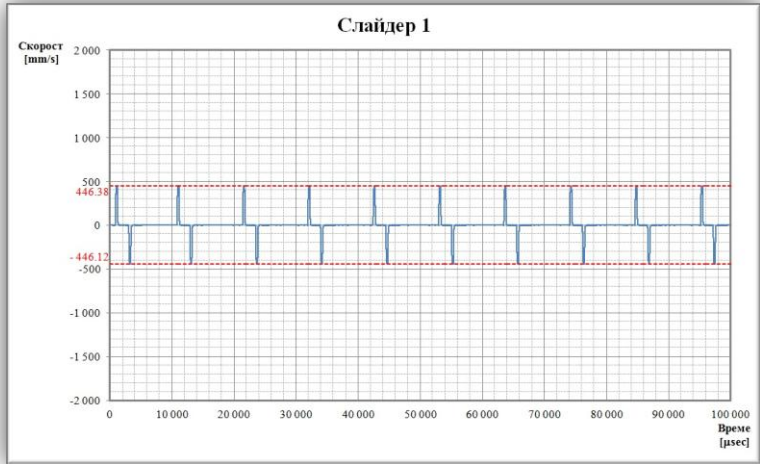
На фиг. 6.1.1. е дадена време-скоростната крива на трите линейни манипулатора, а на фиг. 6.1.14. е дадена време-ускорителната крива на трите линейни манипулатора.

На фигурите от фиг. 6.1.2. и фиг. 6.1.3. са представени време-скоростните криви на линеен манипулатор 1, като са отразени и пиковите на скоростта.

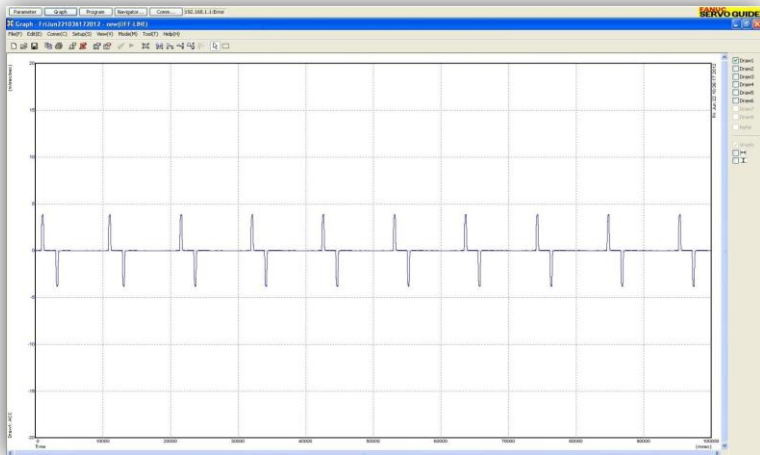
На фигурите от фиг. 6.1.8. и фиг. 6.1.9. са представени време-ускорителните криви на линеен манипулатор 1, като са отразени и пиковите на ускоренията.



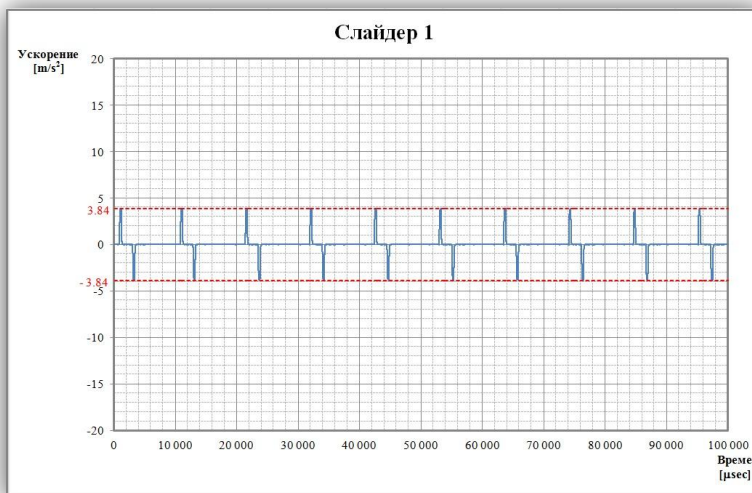
Фиг. 6.1.2. Време-скоростна диаграма на ЛМ 1



Фиг. 6.1.3. Време-скоростна диаграма на ЛМ 1 със означени пикове



Фиг. 6.1.8. Време-ускорителна диаграма на ЛМ 1



Фиг. 6.1.9. Време-ускорителна диаграма на ЛМ 1 със означени пикове

Изводи от време-скоростните и време-ускорителните диаграми:

Работна скорост на линеен манипулатор 1 е (фиг. 6.1.3.) – 464.4 [mm/s].

Работна скорост на линеен манипулатор 2 е (фиг. 6.1.5.) – 608.4 [mm/s].

Работна скорост на линеен манипулатор 3 е (фиг. 6.1.7.) – 890.6 [mm/s].

Ускорение на линеен манипулатор 1 е (фиг. 6.1.9.) – 3840 [mm/s²].

Ускорение на линеен манипулатор 2 е (фиг. 6.1.11.) – 4360 [mm/s²].

Ускорение на линеен манипулатор 3 е (фиг. 6.1.13.) – 19150 [mm/s²].

6.2. Измерване точността на позициониране и повторяемостта на позициите на линейните манипулатори.

Извършихме измерване на точността на позициониране и повторяемост на линейните манипулатори на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки “TS 8001”. Измерването е проведено при пускане на машината след завършване на монтажните работи и уточняване позициите на работните станции и работните ходове на линейните манипулатори.

Резултатите се отчитат при задаване на позиция и след отчитането, че линейния манипулатор е достигнал зададената позиция, като се отчитат колебанията в позиционирането.

Резултати от колебанията на позициониране на линейни манипулатори:

Табл. 6.1

№ изм.	Колебание в [mm] на ЛМ 1	Колебание в [mm] на ЛМ 2	Колебание в [mm] на ЛМ 3
1.	0	0	0
2.	0	0	0
3.	0	0.001	0
4.	0.001	-0.001	0
5.	0	0	0.001
6.	0.001	0	0
7.	0.001	- 0.001	- 0.001
8.	0	0	0
9.	0	0	0
--.	--	--	--
50	0	0	0

Изводи от измерването за точност на позициониране и повторяемост на позициите на линейните манипулатори:

Точността на повторяемост на позициите на линейните манипулатори е ± 0.001 [mm].

Като се има предвид точността на измервателните линии ± 0.005 [mm] и колебанието на позиционирането на линейните манипулатори ± 0.001 [mm], можем да кажем, че точността на позициониране е ± 0.005 [mm].

6.3. Измерване точността на позициониране и повторяемостта на позициите на обработените повърхнини от фрезовите станции.

Извършихме измерване на точността на позициониране и повторяемост на обработените повърхнини от двете фрезови станции на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки “TS 8001”.

На фиг. 5.2.4. са дадени позициите по ос X, ос Y и ос Z, които са измервани. Допуска на отклоненията след обработка са ± 0.02 [mm] и по двете оси. В таблиците са отразени само отклоненията от размера на измерваните разстояния.

Резултати от измерването по ос X, ос Y и ос Z:

Табл. 6.2

№ изм.	X1 [mm]	Y1 [mm]	Z1 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]	Z2 [mm]	X3 [mm]	Y3 [mm]	Z3 [mm]
1.	-0,004	0,003	-0,006	-0,006	0,003	-0,008	0,002	0,003	-0,007
2.	0,002	0,004	0,002	-0,008	0,004	-0,006	0,003	0,004	0,007
3.	-0,002	-0,002	-0,003	-0,006	-0,002	-0,001	0,008	-0,002	0,007

4.	0,002	0,007	-0,009	-0,003	0,007	-0,008	-0,009	0,007	0,005
--.	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	0,008	-0,004	0,006	-0,007	-0,004	0,000	0,007	-0,004	-0,007

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.3

№ изм.	X4 [mm]	Y4 [mm]	Z4 [mm]	X5 [mm]	Y5 [mm]	Z5 [mm]	X6 [mm]	Y6 [mm]	Z6 [mm]
1.	0,008	0,003	-0,002	-0,003	0,003	0,005	-0,007	0,003	-0,007
2.	0,006	0,004	-0,005	-0,007	0,004	-0,007	0,009	0,004	0,008
3.	-0,002	-0,002	0,000	-0,003	-0,002	0,000	0,004	-0,002	0,000
4.	-0,005	0,007	0,006	-0,002	0,007	-0,002	-0,001	0,007	0,006
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	0,002	-0,004	-0,008	0,002	-0,004	-0,004	-0,001	-0,004	-0,005

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.4

№ изм.	X7 [mm]	Y7 [mm]	Z7 [mm]	X8 [mm]	Y8 [mm]	Z8 [mm]	X9 [mm]	Y9 [mm]	Z9 [mm]
1.	0,006	-0,005	0,006	0,006	-0,005	-0,003	-0,001	-0,005	0,002
2.	0,000	-0,004	0,005	-0,007	-0,004	-0,002	0,007	-0,004	-0,004
3.	-0,002	-0,003	-0,009	0,004	-0,003	0,004	0,004	-0,003	-0,003
4.	0,007	0,007	0,002	-0,001	0,007	0,006	-0,009	0,007	-0,008
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	0,002	-0,004	-0,005	-0,007	-0,004	-0,001	-0,006	-0,004	-0,001

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.5

№ изм.	X10 [mm]	Y10 [mm]	Z10 [mm]	X11 [mm]	Y11 [mm]	Z11 [mm]	X12 [mm]	Y12 [mm]	Z12 [mm]
1.	0,005	-0,005	-0,001	0,001	-0,005	0,002	-0,001	-0,005	-0,003
2.	-0,008	-0,004	-0,005	0,004	-0,004	-0,005	-0,008	-0,004	-0,002
3.	0,003	-0,003	0,003	0,001	-0,003	0,004	0,003	-0,003	0,000
4.	-0,006	0,007	-0,008	0,005	0,007	-0,007	0,007	0,007	-0,004
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	-0,001	-0,004	-0,001	-0,005	-0,004	0,001	-0,008	-0,004	0,006

Измерването на секрет тип вълнообразен канал се извършва със точен шаблон, като в таблиците са отразени само отклоненията от размерите.

Измерването на дълбочината на „ямков секрет”, който е под определен ъгъл се извършва със специално направено приспособление, в което се поставя ключа.

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.6

№ изм.	X1 [mm]	Y1 [mm]	Z1 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]	Z2 [mm]	X3 [mm]	Y3 [mm]	Z3 [mm]
1.	-0,007	0,006	0,001	0,008	0,006	0,003	-0,009	0,006	-0,001

2.	-0,005	-0,001	0,008	0,004	-0,001	0,007	-0,007	-0,001	-0,009
3.	0,007	0,002	-0,003	-0,009	0,002	0,004	0,007	0,002	-0,003
4.	0,000	0,008	0,002	0,006	0,008	-0,001	0,006	0,008	-0,002
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	-0,004	0,005	-0,004	-0,004	0,005	0,005	0,007	0,005	0,000

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.7

№ изм.	X4 [mm]	Y4 [mm]	Z4 [mm]	X5 [mm]	Y5 [mm]	Z5 [mm]	Z6 [mm]	Z7 [mm]	Z8 [mm]
1.	0,004	0,006	0,007	-0,003	0,006	-0,004	-0,005	-0,007	0,007
2.	0,006	-0,001	0,008	0,003	-0,001	0,001	0,006	-0,005	-0,007
3.	0,003	0,002	0,009	0,000	0,002	-0,005	-0,008	0,003	-0,008
4.	-0,003	0,008	0,005	0,006	0,008	0,000	0,001	0,001	0,005
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	0,007	0,005	0,001	0,008	0,005	-0,001	0,008	0,000	-0,003

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.8

№ изм.	Z9 [mm]	Z10 [mm]	X11 [mm]	Y11 [mm]	Z11 [mm]	X12 [mm]	Y12 [mm]	Z12 [mm]
1.	-0,006	0,008	0,001	-0,005	0,003	-0,008	0,005	0,007
2.	0,000	0,007	-0,009	0,001	0,008	0,008	0,000	-0,007
3.	0,008	0,000	0,008	0,000	-0,003	-0,005	-0,005	-0,008
4.	-0,001	-0,009	0,000	-0,009	-0,009	0,005	0,006	0,000
--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	-0,007	-0,008	-0,009	-0,001	0,007	-0,003	0,003	-0,009

Резултати от измерването по ос X, ос У и ос Z:

Табл. 6.9

№ изм.	X13 [mm]	Y13 [mm]	Z13 [mm]	X14 [mm]	Y14 [mm]	Z14 [mm]
1.	0,007	0,001	-0,004	0,007	-0,001	0,003
2.	0,002	0,003	0,005	0,005	-0,003	-0,005
3.	0,004	0,008	-0,005	-0,006	0,008	0,009
4.	-0,001	0,007	0,007	-0,006	0,004	-0,007
--	--	--	--	--	--	--
23.	-0,007	-0,001	0,004	0,000	0,004	-0,007

Изводи от измерване точността на позициониране и повторяемостта на позициите на обработените повърхнини от фрезевите станции:

Точността на обработката от фрезевите станции е ± 0.009 [mm] и по трите оси X, Y и Z. Тази точност на функционалните променливи параметри е напълно достатъчна, като се има предвид, че изискваната точност е ± 0.02 [mm].

6.4. Износване на инструментите и качеството на обработените повърхнини.

Износването на инструментите оказва пряко влияние върху качеството на обработените повърхнини и тяхната точност.

Качествените показатели на машина за нарязване на профилен механичен шифър тип „ямков секрет“ и тип „вълнообразен канал“ на ключове за секретни ключалки „TS 8001“ зависят преди всичко от това с каква точност са обработените повърхнини на обработваните детайли.

Състоянието на обработените метални повърхнини има важно значение за експлоатационните свойства на детайлите и оттам на ключалките с висока секретност.

Качеството на обработените повърхнини се обуславя от физико-механичните свойства на повърхностния слой на метала и от отклоненията, които действителната (реалната) геометрична повърхнини има в сравнение с номиналната (идеализираната) повърхнина, дадена върху чертежа. От това определение следва, че качеството на повърхнините може да се разглежда от физична и геометрична гледна точка.

Грапавостта оказва значително влияние върху триенето, характера и интензивността на износване на готовите детайли. Гладкостта на металните повърхности влияе върху коефициента на триене между съвместно работещите части, здравината на частите и всички останали експлоатационни параметри. Върху обработените чрез рязане повърхнини се получават напречни грапавини (формата и височината им зависят от формата на геометричните елементи на режешите ръбове, а стъпката им е равна на подаването) и надлъжните грапавини (върху тях оказва влияние 2 вида фактори; технологични – елементите на рязане, геометрията на инструмента и състояние на режешите ръбове и др.; механични – триенето по повърхнините, пластични и еластични деформации и др.). Влиянието на скоростта на рязане върху височината на грапавините е тясно свързано с промяната на дълбочината на рязане.

Нарязването на „ямков секрет“ се извършва със твърдосплавна фреза с два режещи ръба.

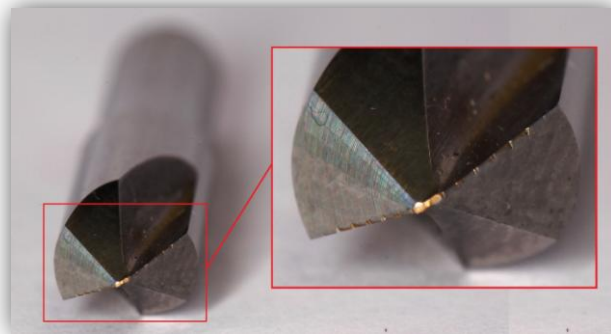
Скорост на подаване при нарязване на „ямков секрет“: 1200 [mm/min].



Фиг. 6.4.1. Нарязан „ямков секрет“ със заточен инструмент



Фиг. 6.4.4. Нарязан „ямков секрет“ със износен инструментта



Фиг. 6.4.3. Износване на инструмент за нарязване на „ямков секрет”

След обработката на 30 хил. заготовки, инструмента се износва по режещите ръбове (фиг. 6.4.2. и фиг. 6.4.3.) на стъпка равна на дълбочините на подаването и започват да се появяват дефекти по обработената повърхност на ключовите заготовки изразяващи се в цилиндрични грапавини. Тези дефекти могат да се видят на фиг. 6.4.4.. Тези дефекти не оказват значително влияние върху работата на ключалките, но губят естетичния вид на продукта, което е от значение за неговото търговско представяне и е наложително да бъде сменен режещия инструмент. При продължаване на работа и увеличаване на износването на инструмента, грапавините ще се увеличат и ще окажат влияние върху работата на заключващата система.

Нарязването на секрет тип „вълнообразен канал” се извършва със твърдосплавна фреза: Walter, тип: Protostar® N 30, с три режещи ръба, стандарт DIN 6527 L

Скростта на подаване при обработка: 120 [mm/min].

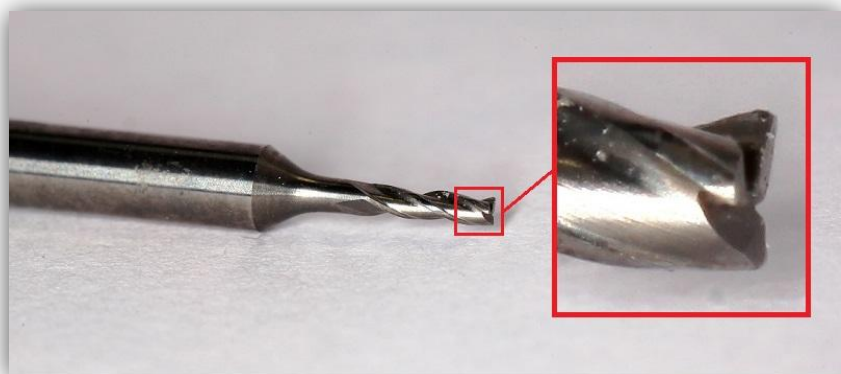


Фиг. 6.4.5. Нарязан секрет тип „вълнообразен канал” със нов инструмент



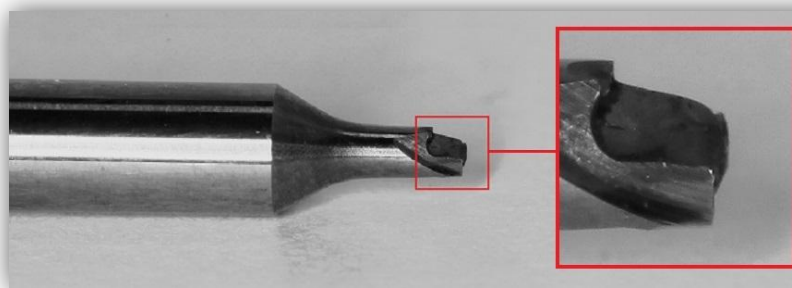
Фиг. 6.4.7. Нарязан секрет тип „вълнообразен канал” със износен инструмент

След обработката на 900 заготовки инструмента се износва (фиг. 6.4.6.) и започват да се появяват осеънци по обработената повърхност на ключовите заготовки. Тези осеънци са със дебела основа, които немогат да се изчистят при следващите операции (почистване и полиране). Тези дефекти могат да се видят на фиг. 6.4.7..



Фиг. 6.4.6. Износване на инструмент за нарязване на секрет тип „вълнообразен секрет”

След обработката на 1000 заготовки износването на инструмента достига критична точка, силите на рязане се увеличават и инструмента се разрушава фиг. 6.4.8.



Фиг. 6.4.8. Разрушаване на инструмент за нарязване на секрет тип „вълнообразен секрет”

Изводи за износването на инструментите и качеството на обработените повърхнини:

Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина и загуба на търговски вид при нарязване на „ямков секрет” при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

Смяната или презаточването на инструмент за нарязване на „ямков секрет” трябва да се извърши при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” при обработката на 900 ключови заготовки.

Счупването на инструмента при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” настъпва при обработката приблизително около 1000 ключови заготовки.

Смяната на инструмент за нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” трябва да се извърши при обработката на 900 ключови заготовки.

6.5. Производителност на машината.

Производителността на автоматичните комплекси (Q) се измерва с произведеното количество изделия (z) за определен период от време (T).

Предназначението на автоматичните комплекси е да произвеждат продукция, което означава, че за производително може да се приеме времето, когато те работят и изпълняват зададените им функции (T_p). Реалният процес на функциониране на автоматичните комплекси е сложен и е свързан с престои (T_n) по различни причини: за смяна на инструмент; за смяна на приспособления и устройства; за обслужване на машината; липса на заготовки; смяна на програмата; за почистване.

Фонда на време на автоматичния комплекс е: $T = T_p + T_n$.

Тогава количествената оценка на производителността се определя: $Q = z / T$.

При заложен такт от $T = 10$ [s], за минута ще бъдат обработвани 6 ключови заготовки. При 8 часова работна смяна броя на обработените ключови заготовки: $z = 8 * 60 * 6 = 2880$ броя за работна смяна.

Времето за работа е равен на технологичния такт ($T_p = T_{mm}$) и се изчислява след завършване на обработката и сортирането в кутии на 5 ключови заготовки, като се пресмята средноаретмитичното време необходимо за обработката на една ключова заготовка.

На фиг. 6.5.1. е показан технологичния такт в секунди за обработка на една ключова заготовка $T_p = T_{mm} = 8.73$ [s].

За обработка на 2880 заготовки е необходимо машината да работи:

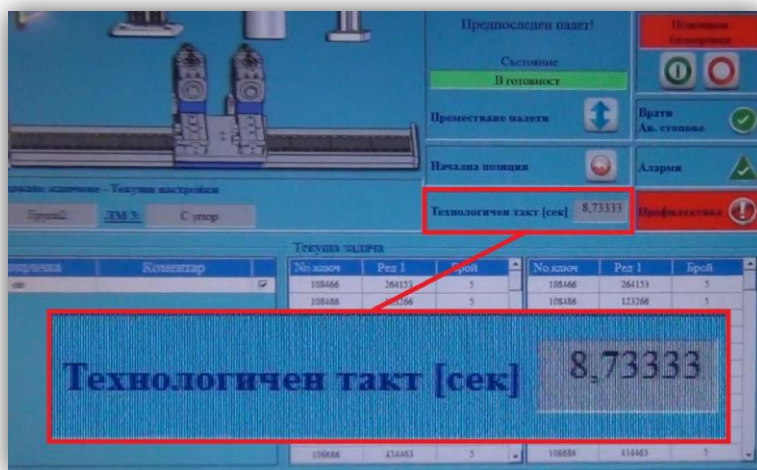
$$2880 * 8.73 = 25142.4 \text{ [s]} \approx 7 \text{ часа}$$

След като знаем времето за работа можем да определим и времето за престой T_n при 8 часова работна смяна.

$$T = T_p + T_n \rightarrow T_n = T - T_p = 8 - 7 = 1 \text{ час}$$

$$T_n = 1 \text{ час}$$

Времето за престой, което включва: за смяна на инструмент; за смяна на приспособления и устройства; за обслужване на машината; липса на заготовки; смяна на програма; за почистване. Времето за престой от 1 час е напълно достатъчно за една 8 часова работна смяна да бъде обслужвана машината.



Фиг. 6.5.1. Технологичен такт на машина TS8001

Изводи за производителността на машината:

Технологичния такт за обработка на една ключова заготовка е 8.73 [s].

При 8 часова работна смяна времето за престой (за смяна на инструмент; за смяна на приспособления и устройства; за обслужване на машината; липса на заготовки; смяна на програма; за почистване), което се предвижда е 1 час.

При този технологичен такт и време за престой се изпълнява изискването за 10 [s], да се обработва една ключова заготовка, което е заложено в проектната част.

Изводи от Глава 6.:

1. Посредством използване на симулационно моделиране на обработващ център и реализацията му са постигнати следните резултати:

Работни скорости на:

- линеен манипулатор 1 (фиг. 6.1.3.) – 464.4 [mm/s].
- линеен манипулатор 2 (фиг. 6.1.5.) – 608.4 [mm/s].
- линеен манипулатор 3 (фиг. 6.1.7.) – 890.6 [mm/s].

Ускорения на:

- линеен манипулатор 1 (фиг. 6.1.9.) – 3840 [mm/s²].
- линеен манипулатор 2 (фиг. 6.1.11.) – 4360 [mm/s²].
- линеен манипулатор 3 (фиг. 6.1.13.) – 19150 [mm/s²].

2. Разлика в скоростта на линейните манипулатори получени при симулирането в процеса на проектирането и измерените след реализацията на манипулаторите е приблизително 3 %.

3. Разлика в ускоренията на линейните манипулатори получени при симулирането в процеса на проектирането и измерените след реализацията на манипулаторите е приблизително 13 %.

4. Точността на повторемост на позициите на линейните манипулатори е ± 0.001 [mm].

5. Като се има предвид точността на измервателните линии ± 0.005 [mm] и колебанието на позиционирането на линейните манипулатори ± 0.001 [mm], можем да кажем, че точността на позициониране е ± 0.005 [mm].

6. Точността на обработката от фрезовите станции е ± 0.009 [mm] и по трите оси X, Y и Z. Тази точност на функционалните променливи параметри е напълно достатъчна, като се има предвид, че изискваната точност е ± 0.02 [mm].

7. Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина при нарязване на „ямков секрет” при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

8. Смяната или презаточването на инструмент за нарязване на „ямков секрет” трябва да се извърши при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

9. Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” при обработката на 900 ключови заготовки.

10. Разрушаването на инструмента при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” настъпва при обработката приблизително около 1000 ключови заготовки.

11. Смяната на инструмент за нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” трябва да се извърши при обработката на 900 ключови заготовки.

12. Технологичния такт за обработка на една ключова заготовка е 8.73 [s].

13. При 8 часова работна смяна времето за престой (за смяна на инструмент; за смяна на приспособления и устройства; за обслужване на машината; липса на заготовки; смяна на програма; за почистване), което се предвижда е 1 час.

14. При този технологичен такт и време за престой се изпълнява изискването за 10 [s], да се обработва една ключова заготовка, което е заложено в проектната част.

Общи изводи:

1. Посредством виртуално проектиране се постига оптимизация на параметрите на обработващ център за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки.

2. Предложен е системен подход и методика за определяне и оптимизиране на работните цикли на отделните модули на машината.

3. Разработена е методика за избор на линейни мотори за линейни манипулатори, чието използване намалява значително спомагателните времена на обслужване на работните модули на металообработващия център приблизително със 200 %.

4. Прилагането на компютърните симулации решава въпросите за определяне на:

- Отсъствие от сблъсъци и други аварии при работа на отделните модули на машината;
- Работните и транспортни скорости на линейни манипулатори.

5. Изработен и изследван е многофункционален обработващ център, като са потвърдени прогнозираните във физическия модел параметри:

– Разликата между получените по теоритичен и експериментален път транспортните и работните скорости на обслужващия манипулатор е приблизително 3 %.

– Точността при повторемост на позициите на линейните манипулатори е ± 0.001 [mm].

– Точност на позициониране на обслужващия манипулатор е ± 0.005 [mm].

– Точността на обработката при фрезование от порядъка на ± 0.009 [mm] по осите X, Y и Z.

6. Предложена е методика за оценка и избор линейни мотори за механизми с висока надеждност и намаляващи значително разходите за поддръжка на износващи се части.

7.Изследвани са износването на инструментите при нарязване на „ямков секрет” и при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” и влиянието върху качеството на обработваните повърхнини:

– Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина при нарязване на „ямков секрет” при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

– Смяната или претачването на инструмент за нарязване на „ямков секрет” трябва да се извърши при обработката на 30 хил. ключови заготовки.

– Износването на инструмента води до влошаване качеството на обработваната повърхнина при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” при обработката на 900 ключови заготовки.

– Счупването на инструмента при нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” настъпва при обработката приблизително около 1000 ключови заготовки.

– Смяната на инструмент за нарязване на секрет тип „вълнообразен канал” трябва да се извърши при обработката на 900 ключови заготовки.

8.Посредством симулационно моделиране е постигнат бърз анализ на множество конструктивни варианти и оптимизиране на:

– Геометрията на детайлите, тяхното тегло и якост.

– Избор на материали, които отговарят на тегло, якост и бюджетни изисквания.

– Определят условията на натоварване, какво ги причинява и да симулират детайлите с тези натоварвания.

– Оценка на детайлите при екстремни натоварвания, без да е необходимо изработване и разрушаване на детайлите.

– Валидиране коефициента на безопасност и оцеляване на физически прототип преди механично тестване.

Приноси

Настоящата дисертационна работа представлява комплексно теоретично и експериментално изследване на параметрите при проектирането и изработването на високопроизводителна машина за нарязване на профилен механичен шифър от типа „ямков секрет” и „вълнообразен канал”, извършващата следните операции: зареждане на ключови заготовки, фрезование, маркиране, почистване, полиране, селективно палетизиране и транспортиране на заготовката между отделните станции със високоскоростен линеен манипулатор. Анализът на получените при

теоретико-експерименталните изследвания резултати дава възможност да се формулират следните приноси:

Научно-приложни приноси

1.Проектиран и изработен е сложен металообработващ комплекс, с използване на линейни манипулатори управлявани от единна CNC система на Fanuc, предназначен за масовото производство;

2.Създаден е симулационен модел за решаване на оптимизационна задача за изграждане на металообработващия комплекс и структурните му компоненти;

3.Разработен е нов подход при 3D моделирането, като са открити причинно следствени връзки позволяващи компоновката на сложни многофункционални металорежещи машини;

4.Предложен е симулационен подход при проектирането позволяващ: да се определят и оптимизират скоростите и ускоренията на отделните манипулатори, да анализират и избегнат вероятните аварии (сблъсъци) при движение на отделните елементи на системата;

5.Предложена е методика за избор на линейни мотори задвижващи захранващите системи на машината при предварително определени цикли и времена за тяхното изпълнение;

6.Във средата на Excel е въведена методика за по- бърз и по-лесен избор на линейни мотори Fanuc;

7.Предложен е подход намаляващ времето за симулационното моделиране посредством упростяване и лесно манипулиране с големия брой подвижни елементи (1610 бр.), състоящ се в следното: разделяне на отделните подвижни възли и съхраняването им, като отделна единица.

Приложни приноси:

1.Проектирана и реализирана е високопроизводителна машина за нарязване на профилен механичен шифър (от типа „ямков секрет” и „вълнообразен канал”) съдържаща над 13000 компоненти, от които 1000 уникални.

2.Създаден е обработващ център извършващ следните операции: зареждане, нарязване, маркиране, почистване на чепаци с профилни пластини и четки, селектиране, разтоварване в палети с контейнери, транспортирането, зареждането, разтоварването и позиционирането на ключовата заготовка в отделните станции чрез манипулатора.

3.Доказана е ефективността на използването на линейни мотори за задвижване при изграждане на CNC центри за цялостна обработка на сложни по форма изделия за масово производство.

4.Разработен е обработващ център обработващ заготовки от месинг, мелхиор, галванично покрити с никел месингови заготовки при честота на въртене на работните вретена на машината от $8000\div 40000$ [min^{-1}].

5.Разработена е система за периодична проверка на състоянието на режещия инструмент посредством периодична проверка на режещия му връх.

6.Определено е времето за използване и такта на подмяна на инструментите извършващи профилната обработка.

7.Предложен е подход за намаляване на времето за проектиране на сложни металообработващи системи и изчислителната мощност на използвания компютър.

8.Повишена е производителността на труда многократно, като обработката на една заготовка се извършва за 8.73 [s].

9.Внедрена е проектираната и реализирана машина за нарязване на профилен механичен шифър “TS8001” в производствените мощности на „Мауер Локинг Системс”, като качеството на готовата продукция е повишена, а производителността се увеличила със 180%.

Заключение

Дисертационният труд е насочен към основните стъпки при проектирането, разработването и внедряването на автоматичен металообработващ комплекс обслужван от високоскоростни линейни роботи за фрезозване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки, чрез използване на софтуерен продукт за проектиране и симулиране на машинни възли, съоръжения и др. Изследванията направени в тази насока дават възможност да се реализира машина за нарязване на профилен механичен шифър със линеен манипулатор задвижван от линейни мотори. Все по-често използване и внедряване на линейни мотори към, които се предявяват завишени изисквания, в тази връзка настоящата дисертация дава едно решение на този проблем и поставя основата за развитие на изследванията в тази насока и внедряването на линейни мотори във различни машини и съоръжения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Каров Б. А., Лефтеров Е. Л., “Анализ на машините за обработка на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки”, сп. Машиностроителна техника и технологии, бр. 1, 2012 г., стр. 82÷88, ISSN 1312-0859.
2. Каров Б. А., “ SolidWorks – основа на най-новите технологии за проектиране на автоматизирани комплекси”, сп. “CIO”, София, Септември, 2013 г., стр. 12-14, ISSN 1312-5605.
3. Каров Б. А., “ Мощта на виртуалните симулации – достъпна за всеки инженер”, сп. “CIO”, София, Септември, 2014 г., стр. 34-36, ISSN 1312-5605.
4. Каров Б. А., Лефтеров Е. Л., “ APPLICATION OF LINEAR MOTOR IN CNC MACHINES”, сп. „Съюза на учените – Варна” – Серия “ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” - 1’2014, Варна, 2014 г., стр. 46-49, ISSN 1310-5833.
5. Каров Б. А., “Избор на линейни мотори за линейни манипулатори на машина “TS 8001” за нарязване на профилен механичен шифър тип „ямков секрет” и тип „вълнообразен канал” на ключове за секретни ключалки”, сп. Машиностроителна техника и технологии, бр. , 2014 г., стр. 79÷84, ISSN 1312-0859.
6. Каров Б. А., Лефтеров Е. Л., “Измерване на скоростта и ускоренията на линейните манипулатори на машина “TS 8001” за нарязване на профилен механичен шифър тип “ямков секрет” и тип “вълнообразен канал” на ключове за секретни”, сп. Машиностроителна техника и технологии, бр. 2, 2014 г., стр. 84÷88, ISSN 1312-0859.

DESIGN AND INVESTIGATION METALCUTTING CENTER SERVED BY HIGH LINEAR ROBOTS

By Eng. Borislav Albenov Karov, MSc.

Thesis

For acquiring academic and educational degree “Doctor”

SUMMARY

This thesis is focused on designing and testing a metal processing center manned by high-speed linear robots for profile milling of mechanical code type "dimple secret" and a "wavy channel" keys for security locks.

To realize the target are resolved following tasks: virtual design is done and determining the parameters of the nodes of the machine for cutting profile mechanical cipher type "dimple secret" and a "wavy channel" keys for security locks; done is a virtual simulation modeling model: detection of collisions, determining the transport speed and working speed manipulator, transported, loaded, unloaded and positioned key blanks serving workstations; made a validation of virtual design model; explored the parameters of the machine for profiled mechanical cipher type "dimple secret" and a "wavy channel" keys for cylinders in real conditions with a physical model: transport speeds servicing manipulator operating speeds of the service handler, repeatability of positioning of the service manipulator, positioning accuracy of the operating handle, quality indicators of finished products, machine productivity.

The thesis provides an adequate method of selecting linear motors Fanuc, which is used in practice. In the thesis is proposed approach to reduce design time on complex machine systems and computing power of the computer used.

Practical value of the study is the realization and implementation in production of high-performance machine for cutting profile mechanical code (such as "dimple secret" and "wavy channel") containing over 13,000 components, of which 1,000 unique, as are used for the first time in Republic Bulgaria linear motors Fanuc.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам благодарности на своя научен ръководител доц. д-р инж. Евстати Лефтеров за неговите съвети и компетентно ръководство, както и на всички свои колеги, които ме подкрепиха и ми помогнаха със своя опит и съвети да реализирам този дисертационен труд.

Благодаря на цялото ми семейство за подкрепата и съпричастността им към работата ми.

