



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
МАШИННО – ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
Катедра: “Технология на машиностроенето и металоурежещи
машини”

маг. инж. Цветозар Тихомиров Иванов

**АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА МОДУЛНИ
МАШИНИ ЗА РЯЗАНИЕ НА ЛИСТОВ МАТЕРИАЛ**

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНАТА И НАУЧНА
СТЕПЕН

“ДОКТОР”

Професионално
направление:

5.1 “Машинно инженерство”

Научна специалност:

**02.01.13 „Рязане на материалите и режещи
инструменти”**

Научни ръководители:

**проф. д-р инж. Галина Иванова Николчева
проф. д-р инж. Георги Димитров Тодоров**

Рецензенти:

**проф. д.т.н. инж. Георги Тодоров Попов
доц. д-р инж. Стефан Кирилов Даскалов**

СОФИЯ, 2015

Дисертационния труд е обсъден и насочен за защита от катедра "Технология на машиностроенето и металоурежещи машини" към МТФ при Технически университет – София на заседание на катедрен съвет, състоял се на 28.09.2015 г.

Дисертантът работи като инженер изследовател в лаб. „CAD/CAM/CAE в Индустрията“ при Машинно-технологичен факултет към ТУ-София

Изследванията от дисертационния труд са извършени в лаборатория „CAD/CAM/CAE в Индустрията“ при ТУ-София, както и в „Оптела АД“ гр. Пловдив.

Дисертацията съдържа 6 основни глави със 126 фигури и 21 таблици, разположени на общо 183 страници, в които се включват 1 страница авторска библиография на статии, доклади изследователски разработки, свързани с дисертацията, 9 страници литература от 111 източника. Всяка глава завършва с изводи и обобщения. В заключение са обобщени получените резултати и са дефинирани основните научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 05.02.2016 г. от 16 ч. в зала 2140 на ТУ – София на заседание на научно жури в състав:

проф. д.т.н. инж. Георги Тодоров Попов	Председател
проф. д-р инж. Галина Иванова Николчева	Научен секретар
проф. дтн. инж. Венцеслав Цветанов Тошков	Член
проф. д-р инж. Бранко Душков Сотиров	Член
доц. д-р инж. Стефан Кирилов Даскалов	Член

Определено със Заповед №ОЖ-457/15.10.2015г. на Ректора на ТУ-София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Машинно-технологичен факултет на Технически университет – София, стая 3230.

Автор: Цветозар Тихомиров Иванов

Заглавие: Автоматизирано проектиране на модулни машини за рязане на листов материал

Тираж: 50 бр.

Печатна база на ТУ-София

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Приложимостта на технологии, като плазменото и лазерното рязане, които навлизат все по-широко в производството благодарение на добрата си ефективност и гъвкавост непрекъснато нараства. Те се характеризират с високи динамични показатели и точност в изпълнението на движенията на геометричната система, съчетани с повишена степен на автоматизация.

Необходимостта от проектирането на такива системи, отговарящи на широк спектър от изисквания, е невъзможно при прилагането на традиционните подходи за проектиране, особено когато е необходимо да се създадат машини с високи технически характеристики и ниска себестойност.

За целта е необходимо прилагането на нов подход – базиран на виртуалните технологии и модулния принцип, който с висока степен на интеграция да отчита взаимовръзките между отделните елементи и да дефинира отделните етапи, съпровождащи жизнения цикъл на създаване на изделия – от идеята през прототипа, експлоатацията, поддръжката, ремонта и се стигне до окончателното рециклиране.

Тази работа е посветена на прилагането на модулния принцип и използване на технологиите на виртуалното инженерство при проектирането на листово отрезни системи с цел да се развие този потенциал в максимална степен.

АКТУАЛНОСТ НА ТЕМАТА

В съвременните условия на глобализация е невъзможно създаването на конкурентноспособни продукти и процеси без използването на високопроизводителни автоматизирани машини и съоръжения, адаптирани към спецификата на всеки един компонент на пазара. Необходимостта от устойчиво развитие, съчетано с непрекъснато повишаване на конкурентоспособността, е възможно само чрез непрекъснат иновационен процес и внедряване на нови технологии и методи на организация. Внедряването на иновационни продукти и процеси обаче, е съпроводено с редица рискове, произтичащи от новостта и възможността за технически или технологични грешки. Това от своя страна не дава сигурна гаранция за ефективността и възвръщаемостта на изразходваните капиталовложения в процеса на разработване и внедряване. Един от ефективните начини за преодоляване на тези трудности и проблеми е използването на модулни системи от унифицирани елементи или процеси, които да намаляват рисковете при максимално адаптиране към конкретните изисквания. Наред

с това прилагането на средствата и методите на виртуалното инженерство и по-специално на виртуалното прототипиране, предполагат възможност за бързо и адаптивно конфигуриране на производствени системи с минимални рискове без физическо прототипиране на всеки вариант. Наред с посочените твърдения, валидни с пълна сила за отрезни машини, използващи нови технологии за обработка, се наблюдава засилен интерес към все по-широкото им внедряване като част от производствените процеси.

НАУЧНА НОВОСТ

Предложен е доразвит подход за автоматизирано проектиране, чрез средствата и методите на виртуалното инженерство и физическото прототипиране, наречен „W“, който чрез частично повторно физическо прототипиране на отделни модули от системата дава по-голяма степен на достоверност и ниво на валидация на приетите технически решения. Предложен е многостъпков алгоритъм за проектиране на сложни модулни отрезни системи, водещ до намаляване на времето за проектиране, индустриализиране и излизане на пазара с максимално отчитане на специфичните изисквания на потребителите. Предложена е система за значещо кодиране както на целите системи, така и на отделните модулни фамилии, което е от съществено значение за управление на данните за продукта при проектирането, композирането, производството, експлоатацията и реновирането на модулно изгражданите системи. Изследвана е пълната функционалност на физически прототип, на основата на тези изследвания са разработени препоръки за коригиране във виртуалния прототип на ниво основни градивни елементи.

ПРАКТИЧЕСКА ПРИЛОЖИМОСТ

Практически е реализиран направеният избор на компоновка на модулната система - тип „подвижна греда“, дефиниран е типоразмерен ред на модулната отрезна система и е проверена предложената метрика на членовете на фамилията, на която е направена модулната концепция на основни градивни елементи. Разработеният иновативен хибриден подход за създаване на „Олекотена“ греда с алуминиева структура, позволяваща високи скорости и динамика при лазерните системи е проверен на база на реален физически прототип. Реализирано е иновативно решение за

обработка на заготовки с автоматизирано, високоточно препозициониране, намаляващо себестойността на вложените материали, дължините на стандартните покупни елементи, улесняващо механичната обработка и транспортирането на модулната система до крайния клиент. Практически са проверени предложените иновативни концептуални и конструктивни решения за препозициониране и задвижване на работните палети, както и осъществяване на рязане на две нива за избягване на сложна повдигателна система и опростяване на конструкцията на геометричната и транспортна система. За начална валидация на виртуалния прототип е изработен пълнофункционален физически прототип на избран представител на модулната система. Част от предложените изменения във виртуален вид са прототипирани физически повторно за висока степен на достоверност и е доказана функционалността на решенията, с което се апробира практически ефективността на предложениия „W” подход.

РЕАЛИЗИРАНЕ НА РАБОТАТА

Изследванията по дисертацията са извършени в лаборатория “CAD/CAM/CAE в индустрията” към МТФ на ТУ-София, като част от изследванията са осъществени при работата по проект No ИФ-02-10 / 24.10.2005г “МОДУЛНА СИСТЕМА за високоскоростно прецизно рязане на листови материали с използване на високотехнологични източници – лазер /LASER/, плазма /PLASMA/, водна струя с високо налягане /WATER JET/”, акроним MASTER Cut - съфинансиран Национален иновационен фонд към Изпълнителна агенция за насърчаване на малките и средните предприятия/ИАНМСП, Министерство на икономиката/МИ.

ОДОБРЯВАНЕ НА РАБОТАТА

Дисертационната работа е докладвана частично и цялостно пред катедра “Технология на машиностроенето и металоурежещи машини”.

ПУБЛИКУВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Съществени резултати получени при разработване на дисертацията са докладвани на следните конференции и семинари:

- VIII International congress machines, technologies, materials 2011, 19-21 September 2011, Varna, Bulgaria

- Дни на механиката във Варна, в рамките на XII Национален конгрес по теоретична и приложна механика, 08-10/10/2013, Варна
- сп. Машиностроене брой 5-6, година LXIII 2014
- 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на ТУ-София, Созопол 2015

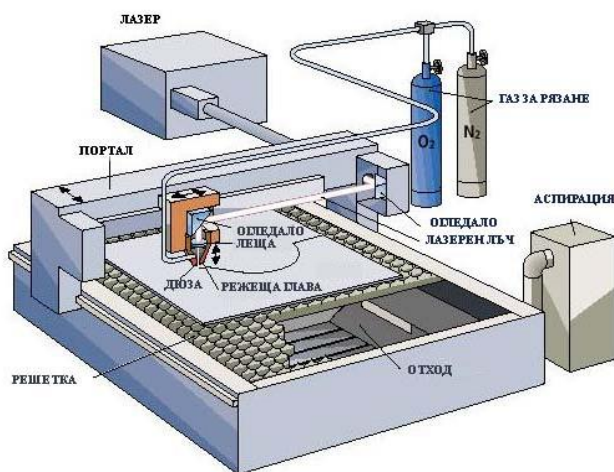
Част от изследвания и получените резултати са издадени в шест публикации.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В настоящата работа са разгледани модулни отрезни системи, предназначени за рязане на детайли от листов материал с проста и сложна форма, като е акцентирано на машините с източник на рязане лазер и плазма. Направена е класификация по основните признаци на тези машини и са разгледани конкурентни образци на водещи световни производители.

От направеното проучване са дефинирани основните системи (елементи) на една модулна отрезна машина които са показани на фиг.1.3 и са разгледани основните от тях както и техните компоненти.



Фиг. 1.3 Типична блок-схема на индустриална система за лазерно рязане

Разгледани са съществуващите подходи и системи за модулно изграждане и са открити основни положения, характеризиращи модулния принцип на проектиране и изграждане, залегнал в тези системи. Описана е необходимостта от прилагане на модулният принцип и са изтъкнати основните предимства и недостатъци при прилагането му.

Описани са методите за виртуално инженерство и жизненият цикъл на продукта, както и мястото на прототипирането в този жизнен цикъл. Показани са основните нива на функционалност на виртуалния прототип и областите на ефективно приложение на виртуалния прототип в съчетание с физически прототип.

Изводи:

- 1. На пазара съществуват голям брой различни отрезни системи развити по разнообразни компоновъчни концепции, като не се откроява единна доминираща концепция.*
- 2. В теорията и практиката са познати голям брой модулни решения, но при високоскоростните отрезни системи не се наблюдава модулност при изграждането им, включително от водещите производители.*
- 3. От проучването не са открити типични фамилни редове от машини за различните типови големина на заготовките.*
- 4. Не се наблюдава съвместимост на системите за плазмено и лазерно рязане по отношение на формообразуващи системи и следващия от това потенциал за модулно изграждане.*
- 5. Методите и технологиите на виртуалното инженерство и в частност виртуалното прототипиране, намират все по-широко приложение при развитие на нови изделия, като значително скъсяват процеса на проектиране и физическо прототипиране.*
- 6. Това е валидно в още по-голяма степен при модулни системи на изграждане, когато физическото прототипиране на вариантите решения е много обемно или дори практически невъзможно.*
- 7. Независимо от големия брой модулни системи от общ характер не е открит единен подход за изграждане на МС за създаване на ефективни високоскоростни модулни отрезни системи.*
- 8. Изследването и развитието на високоскоростни системи от най-високо технологично ниво, а от друга към сравнително евтини ценови нива, с високи технически и експлоатационни характеристики, достъпни за малките и средни фирми е особено актуално.*

1.1. Цел и задачи

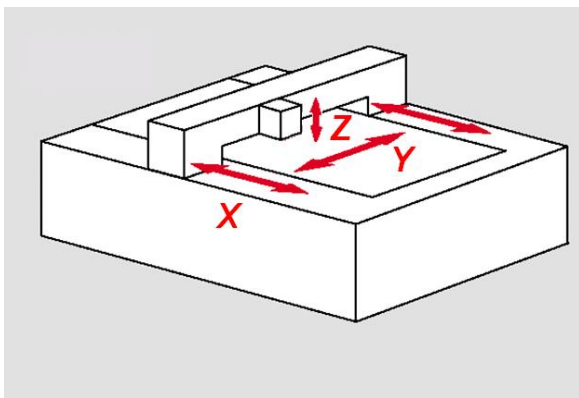
Целта на работата е да се разработи подход за автоматизирано проектиране на модулни високоскоростни отрезни системи (машини) чрез методите на виртуалното инженерство.

От така формулираната цел произтичат следните по-важни задачи:

1. Да се изследват и дефинират общите технически параметри на модулните системи и да се изгради концептуален модел на геометричната система и системата за автоматизирана смяна на детайли.
2. Да се изгради виртуален прототип на геометричната система и системата за автоматизирана смяна на детайлите.
3. Да се определи типопредставителна машина, която да се проектира детайлно и се подготви за физическо прототипиране.
4. Изграждане на физически прототип, провеждане на експериментални изследвания и след анализ на резултатите да се предложат корекции на виртуалния прототип.
5. Да се разработи подход за автоматизирано проектиране на модулни отрезни машини.

2. ИЗСЛЕДВАНЕ И ДЕФИНИРАНЕ НА ОБЩИТЕ ТЕХНИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ И ИЗГРАЖДАНЕ НА КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА МОДУЛНИТЕ СИСТЕМИ

На базата на направеното проучване на конкурентни машини са класифицирани няколко основни типа решения, които могат да бъдат сведени до "подвижна греда", "неподвижен инструмент / подвижен детайл",



Фиг. 2.1 Компоновка тип "подвижна греда"

„портална компоновка“. За модулната система е избрана компоновка тип "подвижна греда" (фиг.2.1). При нея работните движения по оси "X" и "Y" се извършват от режещата глава и позициониращото движение по ос „Z“ също се извършва от нея. Основно предимство е близкото разположение на подвижните елементи до равнината, в която става обработването на заготовката, което

създава по-малки прекатурващи моменти върху подвижните елементи, от което се намаляват деформациите на гредата и грешките от позициониране. Достъпът до масата на машината при зареждане с материал също е много добър. Конструкцията позволява постигането на висока точност при позициониране и голяма коравина, както и обработването на заготовки с по-голяма маса. Недостатъкът е, че максималната дебелина на обработваната заготовка зависи от разстоянието между гредата и масата на машината.

2.1. Библиотека от модули

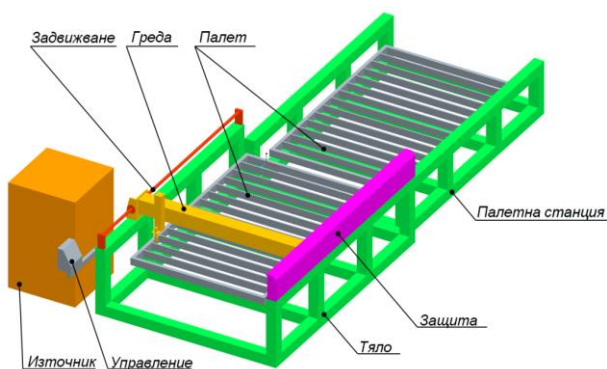
От направеното проучване на съответните машини за високоскоростно прецизно рязане на листови материали, с използване на високотехнологични източници - лазер и плазма, се стига до извода, че не съществува единна система, при която е възможна пълна унификация. Поради спецификата на всеки един от видовете процеси на рязане съществуват елементи и възли, които са общи, независимо от източника на рязане и от обхвата на размерите на рязане, както и такива, които са характерни само за даден случай.

Наличието на съставна модулната система дава възможност съоръжението да се конфигурира конкретно, според изискванията на клиента с минимални промени и преконфигурации.

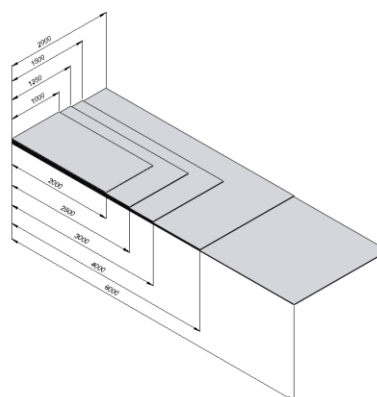
❖ ОГЕ на модулната система са (фиг. 2.5):

- Геометрична система:
 - тяло на машината;
 - греда на машината;
 - задвижване;
 - защиты;
 - други.
- ▪ Транспортна система:
 - палетна станция;
 - палет;
- ▪ Управление;
- ▪ Източник на рязане;

Размерното структуриране на модулната система зависи основно от големините на обработваните заготовки. От друга страна габаритите на заготовките зависят от размерите на стандартните листови материали (фиг.2.6).



Фиг. 2.5 Основни градивни елементи на модулната структура



Фиг. 2.6 Габарити на стандартни листови материали

На база на тези габарити се обособяват няколко вида големина на машините:

- **1500 mm x 3000 mm** – дава възможност да се обработват заготовки с размери 1000 x 2000 (най-разпространеният размер); 1250 x 2500; 1500 x 3000;

- **2000 mm x 3000 mm** – дава възможност да се обработват заготовки с размери 1000 x 2000; 1250 x 2500; 1500 x 3000, както едновременно обработка на три листа от най-разпространения габарит 1000 x 2000;

- **2000 mm x 4000 mm** – дава възможност да се обработват всички заготовки с по-малки или равни на номиналните размери, както и да се съчетава обработка на няколко листа едновременно;

- **2000 mm x 6000 mm** - дава възможност да се обработват всички заготовки с по-малки или равни на номиналните размери, както и да се съчетава обработка на няколко листа едновременно.

Работните органи, обезпечаващи движенията по осите X, Y на преместване, трябва да бъдат съобразени с тези габарити. Движението по ос Z е позициониращо и трябва да бъде съобразено с дебелината на заготовката.

2.2. Дефиниране на общите технически параметри на геометричната система и изграждане на концептуален 3D модел

2.2.1. Тяло на геометричната система

Както се вижда по-горе, от направената класификация на базата на габаритите на обработваните листови заготовки, има три варианта на дължините. За да се избегне наличието на много модификации се избира за стандартна дължина на тялото – 3000, а останалите дължини се обработват чрез препозициониране, осъществяващо се от автоматизираната палетна станция.

Основните предимства на тази компоновка са:

- задвижващите елементи и направляващите, както и оптичните инкрементални линии (при лазера) ще бъдат с по-малки дължини, което намалява, значително тяхната себестойност, тъй като попадат в по-нисък (стандартен) ценови клас;

- тялото на машината е с по-малки габарити, което позволява по-лесен транспорт и по-лесна обработка при неговото производство.

Този вариант на работа има два недостатъка:

- наличието на фиксиращо устройство, даващо необходимата позиция;
- възможност на грешки от несъвпадане на двата среза – но тук се смята, че когато се обработват голямогабаритни детайли изискванията за точността са сравнително по-ниски, а при обработката на по-малки детайли, те се групират, за да няма срез в зоната на препозициониране.

При описаната компоновка тялото на модулната система е унифицирано за различните дължини, като се влияе само от ширината, за която е предназначена конкретната машина.

Според ширините бива:

- тяло за заготовки с ширина 1500 mm;
- тяло за заготовки с ширина 2000 mm;

Поради по-големите изисквания за точност на обработка при лазерната машина, за разлика от плазмената, е необходимо механичната конструкция да бъде по-стабилна и с по-малко вибрации. От тази гледана точка също има два варианта:

- корава механична конструкция – използва се при лазерната машина;
- олекотена механична конструкция – използва се при плазмената машина.

2.2.2. Греда на геометричната конструкция

Поради факта, че модулната система е предназначена за обработка на листови материали със сравнително големи размери, за да може да се реализира желаната динамика е необходимо да се избере стратегия, при която се задвижва гредата, която е сравнително лека, на фона на общото тегло на работната маса и заготовката и позволява достигането на високи скорости (до 50 m/min) и високи ускорения ($9,81 \text{ m/s}^2$).

При лазерните машини все пак, за да могат да се реализират високите динамични изисквания, е необходимо работната греда да се изработи от по-леки материали и конструктивно да се вземат мерки за олекотяването ѝ, при запазване на нейната коравината.

При машините, предназначени за рязане с плазма, изискванията относно максималната скорост са по-ниски (20 m/min) и затова гредата е възможно да се изработи от стомана, което е икономически по-ефективно и технологично по-лесно реализируемо.

Класифицирането на гредата от тази гледана точка е:

- конвенционална греда – греда от конструкционна стомана, без специфични конструктивни изисквания за олекотяване;
- олекотена греда – греда от по-леки материали и конструкция за олекотяване при запазване на коравината;

Както бе споменато по-горе за тялото на модулната система съществуват два размера според ширината на обработваната заготовка, така и тук при гредата ще има два варианта:

- греда за заготовки с ширина 1500 mm;
- греда за заготовки с ширина 2000 mm.

В процеса на концепиране на видовете машини от модулната система са разгледани няколко варианта на гредите, както на стоманените, така и на олекотените. По този начин след анализ на предимствата и недостатъците относно технологичността на обработка, себестойността и динамиката, която се получава ще се избере най-подходящия вариант за дадения случай.

2.2.3. Концепция на задвижванията на работните движения

Задвижванията обезпечават линейните премествания по съответните оси. Те включват в себе си електромоторите, редуциращите предавки и съответните елементи, трансформиращи въртеливото движение в праволинейно, както и направляващите, по които се извършва воденето. Съпоставени са основните такива, които се използват за този вид машини и са избрани следните:

съчмено-винтови задвижвания – за машините, използващи лазер – поради високите изисквания за точност, висока динамика и бърза реакция спрямо тези, използващи зъбноремъчни или зъбно-гребенни предавки и по-ниската им цена и все пак по-ниските изисквания относно замърсявания и поддръжка спрямо линейните мотори.

зъбно-ремъчна предавка – за машините, използващи плазма – поради по-ниските изисквания за точност на системите от този вид, полесното им обслужване, по-ниските изисквания относно замърсяване и поради по-ниската себестойност.

Задвижването на гредата по ос „X“ ще се осъществява двустранно, с помощта на един електромотор, като е реализирано синхронизиране на двата клона с помощта на зъбно-ремъчни предавки при лазерната машина и синхронизиращ вал при плазмената.

Избрани са видовете направляващи, както и защитите, които ще предпазват, както самите направляващи, така и задвижванията и лазерният „път“.

2.3. Дефиниране на общите технически параметри на транспортната система

От направения по-горе анализ на транспортните системи се избира такава, която включва:

- два палета (работни маси), като единият се зарежда, другият е в процес на рязане;
- система за смяна на двата палета;

2.3.1. Концепиране на сменяем работен палет

Размерите на концепираната фамилия палети (работни маси) зависят от габаритите на обработваните заготовки. Както бе дефинирано по-горе, за модулната система се приемат няколко големини в зависимост от обработвания листов материал.

2.3.2. Концепиране на система за смяна на палетите

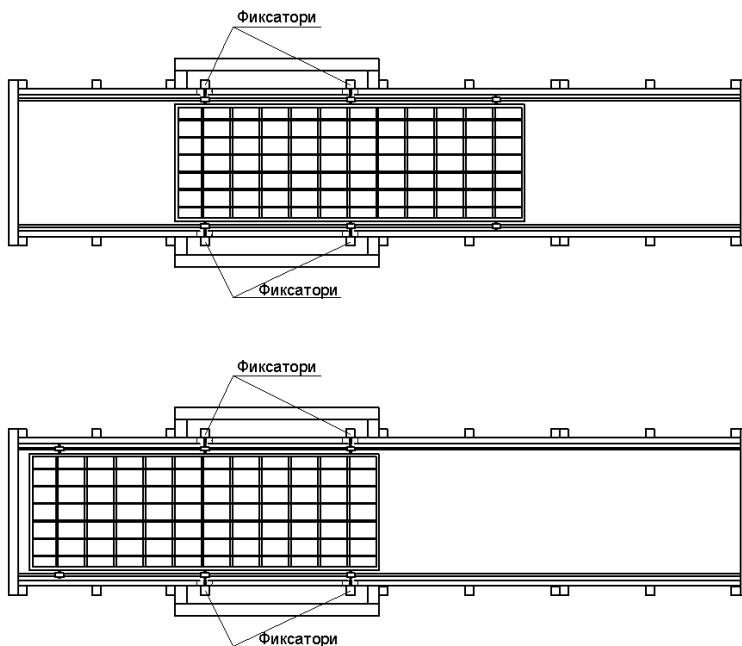
Транспортните системи най-общо имат два палета, които сменят позицията си. Всеки от палетите се движи по релси, разположени едни под други. Много често се предпочита рязането да се извършва на едно ниво и това е нивото на горния палет. В такъв случай е необходимо, след навлизане на долния палет в зоната на рязане, да се повдигне на нужното разстояние. Схемата с повдигане на палета е доста разпространена, тя има съществени недостатъци, а именно, че осъществяването на повдигането на палета изисква сравнително сложна и скъпа повдигателна система. Теглото на палета, заедно със заготовката, може да достигне до няколко тона, което изисква и повдигателен механизъм с голяма товароподемност.

В модулната система ще се използва транспортна система, при която двата палета се движат по релси разположени едни под други и има две нива на рязане. Режещата глава така или иначе извършва управляемо движение по ос Z на машината и само се увеличава хода по тази ос с разстоянието между двата палета. Теглото на елементите, които е необходимо да се движат във вертикална посока, е сравнително малко и това води до реализирането на по-ниски разходи.

Тази концепция позволява да се обработват едрогабаритни детайли, които изискват голяма височина (например метална кутия, на която трябва да се направи доработка – отвори, изрези). Дадената заготовката се поставя на долния палет, а режещият източник е в максимално горно положение. Това прави режещата машина многофункционална с възможност за изработка и доработка на голям спектър от детайли, не само от листов материал.

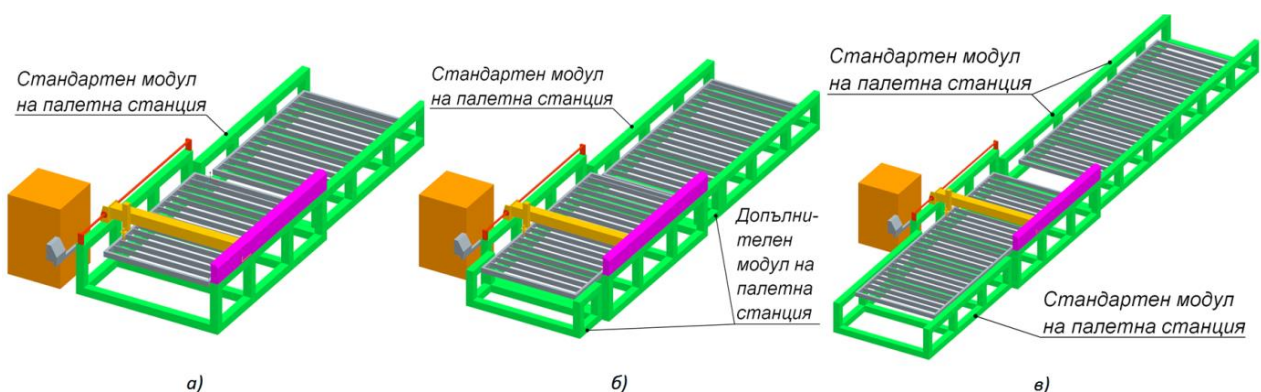
При машините с големина на палетите 1500x3000 или 2000x3000 обработката на заготовката се извършва на един път, а при машините с по големи габарити се избира вариант, при който обработката става на два етапа (фиг. 2.27):

- обработка на първата зона по дължина;
- препозициониране и последваща дообработка на останалата част от заготовката;



Фиг. 2.27 Независимо преместване на палетите

На фиг. 2.29 е показан концептуален модел на модулната структура на системата за смяна на палети, която чрез комбинации на един или два стандартни модули и с допълнителни модули може да се направи комбинация, за да се реализират желаните дължини на рязане.



Фиг. 2.29 Модулна структура на системата за смяна на палети

2.5. Дефиниране на основните технически параметри на модулната система

На база на направеното техническо проучване на съответните машини за високоскоростно прецизно рязане на листови материали, с използване на високоенергитични източници - лазер /LASER/, плазма /PLASMA/ могат да се дефинират следните технически спецификации на модулната система (таблица 2.10).

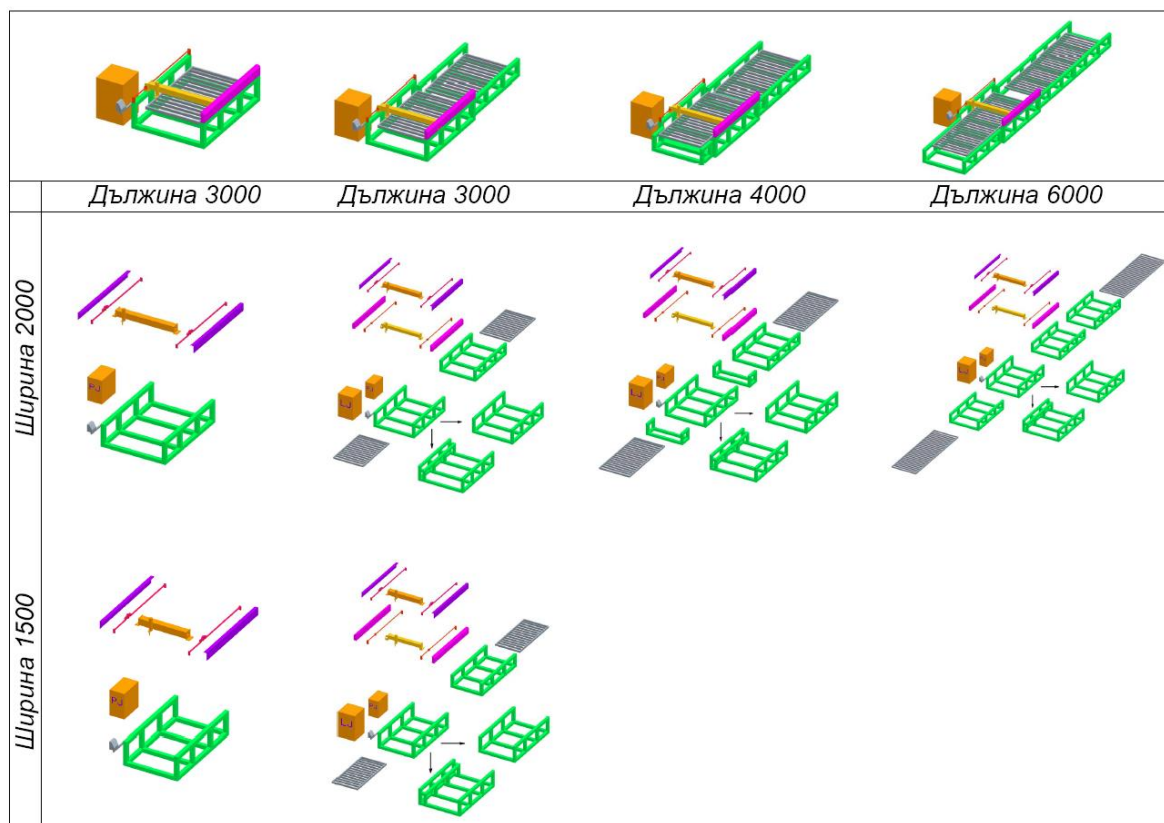
Таблица 2.10 - Технически спецификации на модулната система

Наименование		Лазер	Плазма
Габарити на заготовката по X-Y оси, [mm]		1) 1500x3000 2) 2000x3000 3) 2000x4000 4) 2000x6000	1) 1500x3000 2) 2000x3000 3) 2000x4000 4) 2000x6000
Максимална товароносимост, [kg]		750 1000 1300 2000	1) 1500 2) 2000 3) 2600 4) 4000
Транспортна скорост по X, Y оси, [m/s]		50	20
Бърза скорост по X, Y оси, [m/s]	max	20	10
	min	0,001	0,001
Работно ускорение по X, Y оси, [m/s ²]		9,81	9,81
Точност на позициониране, [mm]		±0,05	±0,1
Точност на повторение, [mm]		±0,05	±0,1
Източник		3 [kW], max 6 [kW]	100 [A], max 250 [A]

Видовете варианти на модулната система (графичен модел на модулната система) са изобразени на фиг. 2.31, а модификациите, в които участва даден елемент са показани в матрица на съвместимостите (таблица 2.11).

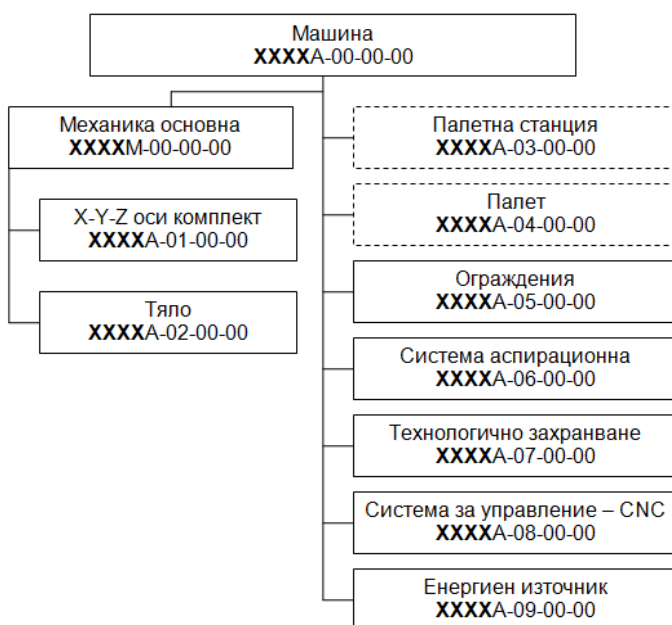
Таблица 2.11 – Матрица на съвместимостите

Източник		Дължина			Механична конструкция		Греда		Задвижване		Защити	
		3000	4000	6000	Корава	Олекотена	Олекотена	Конвенционална	СВП	Зъбно-ремъчно задвижване	Защита тип хармоника	Стационарни
Лазер	Ширина											
	1500	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	2000	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-
Плазма	Ширина											
	1500	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+
	2000	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+



Фиг. 2.31 Графичен модел на модулната система

2.6. Разработване на кодировка за означенията в структурата на модулната система



Фиг. 2.32 Блок-схема за означенията, използвани в структурата на модулната система

За по-лесно идентифициране на отделните варианти на модулната система, както и на принадлежащите ѝ сглобени единици и детайли, е разработена кодировка за техните означения. Използваните означения са модулно ориентирани и съответстват на структурата на машините. Представената на фиг.2.32 блок-схема онагледява начина на кодиране.

Първите **два символа** от означенията се отнасят до типа на енергийния източник:

LC – LASER CUTTING – машина за лазерно рязане;

PC – PLASMA CUTTING – машина за рязане с плазма;

Третият и четвъртият символи са запазени за характерните размери на машината – дължина и широчина, които имат отношение към технологичните ѝ възможности:

дължини: **З** – (3000mm); **4** – (4000mm); **6** – (6000mm);

широчини: **N** – (1500mm); **W** – (2000mm).

Петият символ се отнася до изпълнението на машината (например: мощност на източника при лазерните машини, система на управление и др.). Базовото изпълнение носи символа "А", а останалите букви са свободни за следващи клиентски изпълнения, с изключение на буквата "М", използвана за едно от подбивата на машината.

Шестият и седмият символи определят функционалната група за машината. Останалите символи са за подвъзлите и техните детайли.

2.7. Изводи

1. *Анализирани са известните компоновъчни решения за формообразуващи системи на високоскоростни отрезни машини и е предложена класификация на базата на разпределението на движенията между отделните основни елементи.*

2. *Аргументиран е изборът на компоновка тип „подвижна греда“, която ще бъде използвана в следващите етапи на работата.*

3. *На основата на анализ на най-често използваните в практиката размери заготовки и стандартните листови материали е дефиниран типоразмерен ред на ФС на отрезните машини с предложена метрика за всеки един член на фамилията.*

4. *На основата на предложения типоразмерен ред на модулната система е концепирана модулна фамилия от основни тела за двата основни типа системи – лазерни и плазмени. За нея е развита задвижваща система за двата основни типа – специализирани за лазерните и отделно за плазмените системи.*

5. *Предложен е хибриден подход за компоноване на напречната греда: „Конвенционална“ - за ниска себестойност и „Олекотена“ - за високи скорости и динамика при лазерните системи.*

6. *В съответствие с предложения типоразмерен ред на модулната система е концепирана фамилия от палети и палетни станции, унифицирани за двата основни типа системи – лазерни и плазмени.*

7. Предложено е иновативно решение за модул „Тяло“ на системата за обработка на заготовки с препозициониране, за намаляване себестойността на вложените материали, дължините на стандартните покупни елементи и улесняване на механичната обработка на елементите на тялото и транспортирането на цялата система.

8. Предложено е решение за рязане на две различни нива, като по този начин е избегнато повдигането на големогабаритните заготовки и е опростена конструкцията на цялата транспортна система.

9. Разработена е система за значещо кодиране, както на целите системи, така и на отделните модулни фамилии, което е от съществено значение за управление на данните за продукта при проектирането, композирането, производството, експлоатацията и реновирането на модулно изгражданите системи.

3. ИЗГРАЖДАНЕ НА ВИРТУАЛЕН ПРОТОТИП НА ГЕОМЕТРИЧНАТА СИСТЕМА И СИСТЕМАТА ЗА АВТОМАТИЗИРАНА СМЯНА НА ЗАГОТОВКИТЕ

Виртуалният прототип на модулната системата е необходимо да се базира на изграждането на тримерен модел, който служи за създаване на модели за изчисления с крайни елементи на силови и температурни натоварвания, кинематични симулации, създаване на презентационни фотореалистични и анимирани изображения, както и за основа за разработването на производствена документация- двумерни работни чертежи, структурни спецификации, технологични схеми за измерване, контрол, схеми за монтаж и последващи изпитания, както и каталози за експлоатация и резервни части.

Определени са типопредставители на модулната система, при които се дефинират основните характеристики за базовите варианти с различни източници на рязане. На тези типопредставители са създадени опростени ВП, на базата на които са създадени изчислителни модели за определяне на собствените честоти на геометричната система включваща в себе си носещата конструкция на машините (тялото) и напречният им модул (гредата).

3.1. Оценка на постигнатите параметри

Проведените симулации на работните натоварвания и параметри на основните три групи модули на разглежданите машини за лазерно и плазмено рязане са обобщени като крайни резултати по-долу. Това

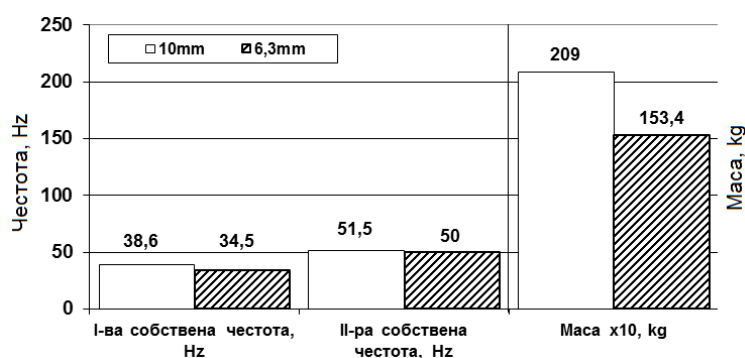
разглеждане дава възможност да се резюмира постигнатото чрез наличния инструментариум за оптимизиране на изходните параметри на съответните компоненти. Оценката е направена основно по два обобщени параметъра – подобро динамично поведение и намалена себестойност на изследваният обект.

Носещи конструкции (Тела) – за лазерна и плазмена машини

Вследствие на резултатите от модалния анализ на тялото за лазерната машина е верифицирана конструкцията. Тя е оценена като подходяща за техническите изисквания, поставени към нея, а и същевременно възможностите за намаляване на нейната себестойност са оценени като минимални. Това дава основание за използването на тази конфигурация на носещата конструкция в по-нататъшната работа.

Носещата конструкция за плазмената машина от друга страна, е преразгледана, най-вече с оглед на намаляване на нейната себестойност. Това е постигнато чрез намаляване на дебелината на стандартният тръбен профил, ползван за изграждане на основата от 10 mm на 6,3 mm. Резултатите от проведения модален анализ на изменената конструкция са съпоставени с тези за изходната – като стойности за първите две собствени честоти, като това е допълнено и от променената маса – респективно себестойност – на конструкцията. Тази съпоставка е показана графично на фиг. 3.32.

От получената диаграма ясно личи, че променената стабилност на системата слабо е повлияла на динамичните ѝ параметри, които остават в рамките на допустимото. От друга страна обаче, е реализирано чувствително намаляване на масата ползван материал – около 500 kg, което представлява около 25% от теглото на носещата конструкция.



Това ще има съществен финансов ефект върху общата себестойност и е пряк резултат от проведените числени пресмятания.

Фиг.3.32 Сравнителна диаграма на вариантите носеща конструкция за плазмената машина

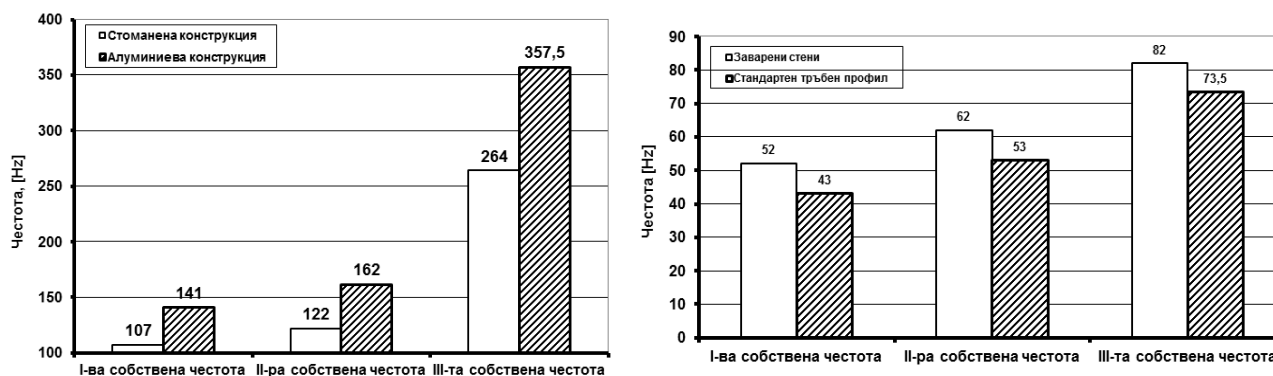
Напречен модул (греда) – за лазерна и плазмена машини

Както и по отношение на напречния модул, носещите конструкции също са обединени в две групи – за лазерна машина и за плазмената машина. Двете проведени оптимизации за тези групи са в различни посоки – докато при лазерната машина е търсено увеличаване на динамичните показатели (в известна степен за сметка на увеличаване на себестойността ѝ), то при плазмената машина е търсено намаляване на себестойността. Тези две цели са постигнати съответно при лазерната машина чрез преминаването от стомана към по-леката, но с достатъчна коравина (определено до голяма степен от геометрията на конструкцията) алуминиева сплав, и при плазмената машина – чрез използването на стандартен тръбен профил, който да замени заварените стени на гредата.

Резултатите от тези оптимизации са представени чрез диаграмата, показана на фиг. 3.33. От тази диаграма се вижда значителното увеличаване, от една страна, на стойностите за собствените честоти, получено при замяната на стомана с алуминиева сплав, а от друга – слабото влияние, породено от преминаването към стандартен тръбен профил.

Това дава основание да се предвиди изработване на напречната греда за лазерната машина от алуминиева сплав, а тази за плазмената машина – при използването на стандартен стоманен тръбен профил.

Носещата конструкция и напречната греда са двата основни възела, имащи отношение към техническите показатели и себестойността на машината. Независимо от това, някои от останалите възли също представляват интерес, с цел да се оцени силово-деформационното им поведение в работни условия. Това са основно възлите, имащи отношение към установяване на заготовката и респективно натоварени по съответен начин. Разделянето по машини този път е, като в една група са разгледани машината за лазерно и тази за плазмено рязане – ползващи еднотипен палет за установяване на листовия материал. Интерес представлява тяхното статично поведение, при натоварване от тежестта на максимално възможната заготовка (листовия материал). Приложено е разпределено натоварване, определено от максималната маса на обработвания листов материал. Ползвани са опростени геометрични модели, генерираните мрежи от крайни елементи и зададените гранични условия са описани в следващата глава. Важно е да се отбележи, че са проведени изцяло статични силово-деформационни симулации, целящи да оценят якостно конструкциите и да очертаят вероятни възможности за тяхната оптимизация.



а) напречен модул за лазерната машина
б) напречен модул за плазмената машина
Фиг.3.33 Собствени честоти на различните конструктивни варианти

3.2. Пресмятане на работната маса за плазмена машина без автоматизирана смяна

За вариантите на плазмена машина с дължина 3000 mm на заготовката, която ще се обработва, и се цели намаляване на себестойността е възможно да няма палетна станция за смяна на палетите. Смяната ще става с помощта на електротелфер, с който целият палет заедно със заготовката ще се поставя и сменя от зоната на рязане. Затова е направено пресмятане на конструкция, която е натоварена от тежестта на заготовката.

3.3. Изводи:

1. Разработен е виртуален прототип на две модулни системи, позволяващ якостно, деформационно и динамично селективно оптимизиране (собствени честоти и форми) на метриката и конструктивното изграждане на основни градивни елементи на отрезните системи за лазерно и плазмено високоскоростно рязане.

2. Анализирано е приложението на олекотена алуминиева конструкция за изграждане на подвижната напречна греда при концепцията за лазерно рязане. По този начин съществено се подобряват динамичните параметри, което е доказано чрез проведени инженерни анализи.

3. Предложено е специализирано решение за плазмения процес, като са аргументирани варианти за изграждане на подвижната греда в зависимост от вида на процеса.

4. Чрез инженерни анализи е постигнато отдалечаване на собствените честоти на елементите и системата от въздействия в следствие от динамичните процеси при работа на структурата.

5. Създадени са два специализирани варианта за телата на структурите в зависимост от процесите на обработка. Разработена е конструкция на тялото с повишена коравина - предназначена за системи за лазерно рязане и олекотена и нискостойностна конструкция - за плазмена система.

6. Създаден е виртуален прототип на транспортна система, унифицирана за двата процеса на обработка - лазерна и плазмена.

7. Доказано е възможността за използване на тънкостенни профили с незначително намаляване на коравината на конструкцията.

8. Осъществена е метрична оптимизация на конструкцията на работния палет от гледна точка на стабилност и материалоемкост.

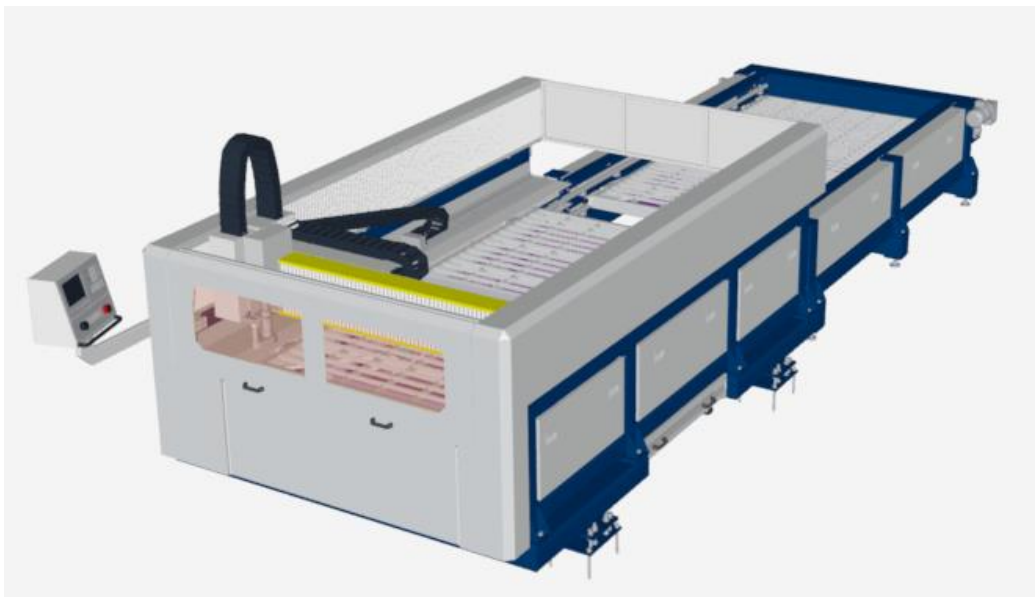
4. ДЕТАЙЛНО РАЗВИТИЕ, ПРОЕКТИРАНЕ И ПОДГОТОВКА ЗА ФИЗИЧЕСКО ПРОТОТИПИРАНЕ НА ТИПОПРЕДСТАВИТЕЛ-НА СИСТЕМА

В качеството на представителен прототип на модулната система се избира лазерна система за високо скоростно прецизно рязане на листови материали.

Избран е следният вариант за прототипиране, на който е изграден пълен ВП и е разработена конструктивна и технологична документация:

- **Лазерна машина** с мощност на лазерния източник 3 kW и габаритни размери на работната маса 1500 x 3000 mm. Избран е лазерен източник с висока мощност, за да се осигури възможност за по-широк диапазон на технологичните режими на рязане при изследване и изпитване на готовия прототип. От съображения за по-ниска себестойност на изработвания прототип е избрана конструкцията на машината с малки габарити – с работна зона 1500x3000 mm. Изборът е продиктуван от това, че за тази система изискванията към конструкцията са най-високи и тя в максимална степен би илюстрирала преимуществата и евентуалните недостатъци на разработените конструктивни концепции. Това е и машината, за която смятаме, че в момента има най-голямо пазарно търсене.

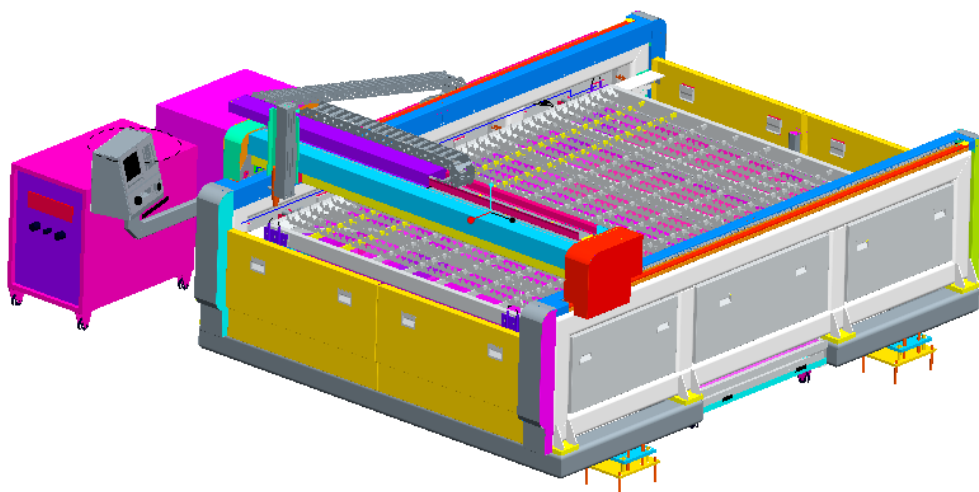
На фиг.4.23 е представен тримерен модел на общия вид на лазерната машина, за който са представени различни конструктивни решения на характерни компоненти и възли.



Фиг. 4.23 *Общ вид на лазерната машина*

Плазмена машина с източник на рязане 100А и работна зона 1500х3000, но без палетна станция за автоматична смяна на работните палети. Палетите ще се сменят с помощта на електротелфер.

На фиг. 4.25 е представен тримерен модел на общият вид на плазмена машина



Фиг. 4.25 *Общ вид на плазмената машина*

4.1. Изводи

1. На основата на анализ на приложимостта е избран типопредставителен вариант на лазерната и плазмената системи, които да бъдат конструктивно разработени на ниво модулни групи и се подготви

техническа и производствена документация за изработване на физически прототип.

2. Анализирани са различни конструктивни решения и е предложен подробен вариант, включващ всички необходими елементи за работен палет за лазерната и плазмените системи.

3. Разработени са детайлно виртуални прототипи на по-горе определените типопредставители на лазерната и плазмената системи. На тази основа са специфицирани и уточнени основните им характеристики.

5. ИЗГРАЖДАНЕ НА ФИЗИЧЕСКИ ПРОТОТИП. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И КОРЕКЦИИ

За сложни системи, каквато се явява модулната система, ще е много скъпо, трудоемко и ще отнеме време физически да се прототипират всички нейни представители, затова е необходимо да се избере един такъв, при който да се направят необходимите изпитания и на база, на който да се направи верификация на ВП.

Изборът на система за физическо прототипиране от гледна точка на източник на рязане - лазер или плазма се пада на лазерна машина, поради по-високите и динамични и точностни изисквания, които е необходимо да се верифицират. От гледна точка на размерите, които е необходимо да се изберат, при ФП се избира система за обработка на заготовки с размери ширина 1500 и дължина 3000 mm, поради факта, че системи от този вид имат най-голямо пазарно търсене, и дават възможност за обработка на най-разпространените стандартни заготовки от листов материал.

5.1. ИЗРАБОТКА НА МЕХАНИЧНИТЕ МОДУЛИ

Съгласно конструктивната документация за лазерната машина LC3NA.00.00.00 са изработени всички детайли, подвъзли и възли за нея. Направен е монтаж и напасване на машината. За пълна интеграция на системата са осигурени необходимите за работата на системата електрозахранване, газозахранване, охлаждащ агрегат, компресор, материали и консумативи. Монтирани са и електрически свързани компонентите на задвижващата система и системата за управление, пулта и лазерният източник. Извършено е напасване на системата и настройка на функционалните връзки, техническите параметри и работни режими на лазера и управляващата система.

Проверено е и действието на системата като цяло в режим на работа, като е направено пробно рязане на различни материали (в т.ч. метали и неметали), с различни дебелини и при различни режими на рязане - мощност на лазерния лъч, скорост, фокусно разстояние на лещата, налягане на технологичния газ.

Направена е верификация на ВП, направени са съответните препоръки и корекции, които е необходимо да се отразят в него

Общият вид на сглобената с ограждения, източник и управление машина е показан в процес на работа на фиг. 5.8.



Фиг. 5.8 *Общ вид на физически прототип на машината за лазерно рязане*

5.2. Изводи

- 1. Разработен и изработен е физически прототип на лазерна система за изследване функционалността ѝ.*
- 2. Анализирани са възникналите проблеми при изработката на отделни възли и елементи, и са предписани корекции от технологичен, метрологичен и конструктивен характер.*
- 3. Валидирани са основните показатели на отделните модули и са направени препоръки за тяхното коригиране във виртуалния прототип.*
- 4. Направен е функционален анализ на изработения и сглобен физически прототип и на база тестова верификация на работата на лазерната система са предложени необходими корекции, които да се осъществят във виртуалния прототип.*

6. ПОДХОД ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА МОДУЛНИ ОТРЕЗНИ СИСТЕМИ ЧРЕЗ ВИРТУАЛНО И ФИЗИЧЕСКОТО ПРОТОТИПИРАНЕ

6.1. Същност на подхода

В практиката са известни редица подходи за ефективно прилагане на ВП и ФП в подходяща комбинация за бързо и с най-малки разходи постигане на необходимия резултат.

Съществуващият и широко използван в практиката „V” подход за виртуално проектиране дава много добри резултати при еволюционно развитие на сложен продукт с голяма степен на взаимосвързаност в поведението на елементите му – примерно сложната модулна система, разгледана тук.

В редица проекти създаването на пълен физически прототип е все по нецелесъобразно икономически – малките серии и сложността на изделията не позволяват пълномащабен прототип. Същевременно все повече етапи успешно могат да бъдат верифицирани без задължително да е осъществено цялостно физическо прототипиране. Итерациите са най-вече на компонентно ниво. Цялостният прототип може да бъде или само виртуален, или да се създаде само в края на един итеративен многостъпков процес. Това предопределя хибридно прототипиране като икономически най-изгодно

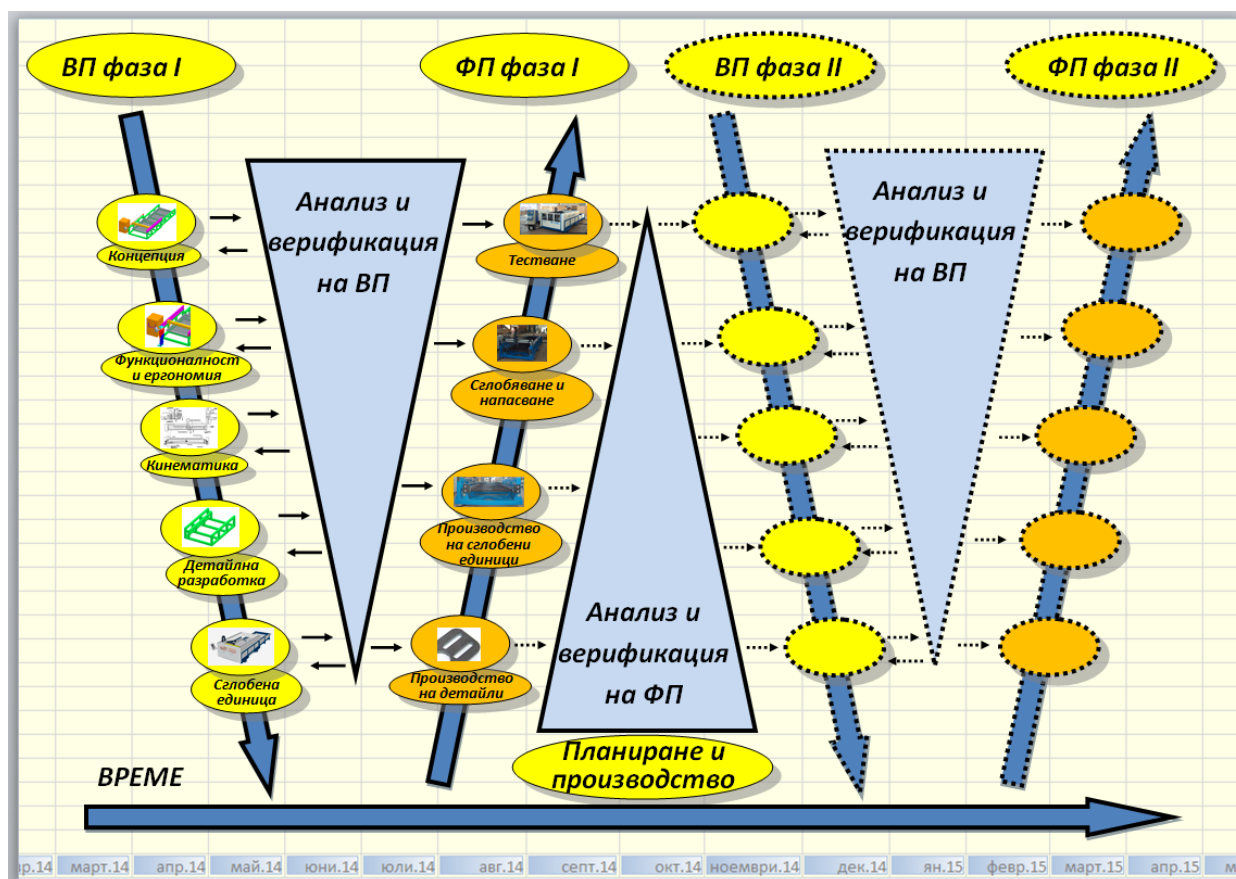
Тук е предложен и използван итеративен многостъпков “W” подход, отразяващ именно тази идея, фиг. 6.1. Той се характеризира с двукратно (многократно) прилагане на “V” цикъла като в първия подцикъл се минимизира физическото прототипиране. При малко серийни продукти “W” подходът позволява включително трансформиране на прототипа в края на тестовите в продаваем продукт.

Вследствие на натрупания опит на автора и колектива на лаборатория “CAD/CAM/CAE в индустрията” на ТУ-София по създаване на ВП и ФП е предложен хибриден подход, наречен “W подход” за комбиниране на ВП и ФП, с цел редуциране на разходите и времето за създаване на сложни многокомпонентни системи.

“W” подходът се характеризира със следните особености:

- Продуктът се прототипира изцяло във виртуален вид в първия цикъл;
- Всички етапи на виртуалния прототип се верифицират, като тези, които не могат да се приемат без физически прототип, се прототипират физически на първия цикъл;

- При необходимост от промени те се осъществяват във виртуалния прототип на втория цикъл;
- Елементите, които позволяват отпадане на физическото прототипиране, се прототипират само във финалния цикъл;
- При сложни изделия в малки серии се търси възможност финалният прототип да бъде трансформиран в продаваем продукт.



Фиг. 6.1 Итеративен многостъпков "W" подход за прототипиране

Тук решаващият фактор е правилното оценяване на това дали на даден етап е наложителен или не физически прототип, при наличие на добри резултати от виртуалния такъв.

При целесъобразно комбиниране на ВП и ФП може да се постигне значително намаляване на разходите и времето за прототипиране, при минимален риск за съществуване на скрити недостатъци, които да се появят в серийното производство.

Това в още по-голяма степен се отнася до модулните системи, когато не е възможно, а и не се налага да се прототипират всички модули и всички варианти на комбиниране на модулите.

По този начин се постигат следните предимства:

- Създава се пълен виртуален прототип, който позволява вариантно проектиране с ниска стойност и намалява разходите по осъществяване на корекции и отразяване на допуснати грешки;
- Не се прототипират физически всички етапи (елементи), което намалява съществено разходите за прототипиране;
- Физическите прототипи от първия етап при годност се използват и за крайния физически прототип;
- Създават се условия в определени случаи финалният прототип да се превърне в продаваем продукт.

Този подход може да бъде приложен за модулните отрезни системи, разглеждани в настоящата работа, като се следват представените по-долу накратко стъпки:

- Развитие на възможните структурни варианти ФС на база създадената библиотека ОГЕ;
- Избор на типопредставителен структурен вариант и базиран на това ВП, който ще бъде цялостно детайлно разработен с цялостно включване на отделните модули;
- Изработване на ФП и неговото анализиране и верифициране;
- Коригиране на ВП съобразно направените препоръки след анализ на ФП;
- Разработване на всички варианти на ВП на ниво ОГЕ, без тяхното композиране (съществуват само на ниво модули).

По такъв начин се изгражда една библиотека от верифицирани ВП на ОГЕ, които могат да се композират съгласно матрицата на съвместимостите и така да се получи необходимата комбинация от варианти, която да обслужи по най-добрия начин изискванията на клиентите на модулните отрезни системи.

6.2. Изводи

1. След анализ на съществуващите методи за виртуално и физическо прототипиране на основата на „V” подхода бе установено, че при модулни системи с голяма сложност, той не е достатъчно ефективен по отношение на валидация на приетите коригиращи действия.

2. Предложен е доразвит подход за автоматизирано проектиране, чрез средствата и методите на виртуалното инженерство и физическото прототипиране, наречен „W”, който дава по-голяма степен на сигурност и

ниво на валидация на приетите технически решения, чрез частично физическо прототипиране на отделни модули от системата.

3. Предложени са основни стъпки при проектиране на сложна модулна система, които намаляват времето за развитие и излизане на пазара.

4. Предложеният „W” подход е приложим и при други подобни сложни модулни системи, като производствени и подедни машини, и мехатронни системи.

Приноси

Научно-приложни приноси

1. Предложен е доразвит подход за автоматизирано проектиране, чрез средствата и методите на виртуалното инженерство и физическото прототипиране, наречен „W”, който чрез частично повторно физическо прототипиране на отделни модули от системата дава по-голяма степен на достоверност и ниво на валидация на приетите технически решения.

2. Предложен е многостъпков алгоритъм за проектиране на сложни модулни отрезни системи, водещ до намаляване на времето за проектиране, индустриализиране и излизане на пазара с максимално отчитане на специфичните изисквания на потребителите.

3. Предложена е система за значещо кодиране както на целите системи, така и на отделните модулни фамилии, което е от съществено значение за управление на данните за продукта при проектирането, композирането, производството, експлоатацията и реновирането на модулно изгражданите системи.

4. Изследвана е пълната функционалност на физически прототип, на основата на тези изследвания са разработени препоръки за коригиране във виртуалния прототип на ниво основни градивни елементи.

Приложни приноси

1. След обстойни анализи е направен избор на компоновка на модулната система - тип „подвижна греда”, дефиниран е типоразмерен ред на модулната отрезна система и е предложена метрика на членовете на фамилията. На тази база е направена модулната концепция на основни градивни елементи.

2. Разработен е иновативен хибриден подход за създаване на „Олекотена” греда с алуминиева структура, позволяваща високи скорости и динамика при лазерните системи.

3. Аргументирано е избран типът на задвижване, съответно на лазерна и плазмена системи по основните работни оси, и са предложени концептуални и конструктивни реализации за това.

4. Предложено е иновативно решение за обработка на заготовки с автоматизирано високоточно препозициониране, намаляващо себестойността на вложените материали, дължините на стандартните покупни елементи, улесняващо механичната обработка и транспортирането на модулната система до крайния клиент.

5. Предложени са иновативни концептуални и конструктивни решения за препозициониране и задвижване на работните палети, както и осъществяване на рязане на две нива за избягване на сложна повдигателна система и опростяване на конструкцията на геометричната и транспортна система.

6. Създадени са виртуални прототипи на два типопредставителя отрезни системи като елемент на предложения подход.

7. Чрез създадения виртуален прототип е осъществена структурна оптимизация от гледна точка на материалоемкост при постигане на добри динамични показатели на двата вида системи, лазерна и плазмена, като е доказано съществено намаляване на количеството използвани материали.

8. За начална валидация на виртуалния прототип е изработен пълнофункционален физически прототип на избран представител на модулната система.

9. Част от предложените изменения във виртуален вид са прототипирани физически повторно за висока степен на достоверност и е доказана функционалността на решенията, с което се апробира практически ефективността на предложения „W” подход.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Todorov G., Ivanov Ts., Kamberov K., Romanov B., „Modular Conception for high speed cutting machines using laser, plasma or water jet technologies”, VIII International congress machines, technologies, materials 2011, 19-21 September 2011, Varna, Bulgaria, Vol. 7/127, ISSN 1310-3946, pp 37-41

2. Ivanov Ts., Todorov G., Nikolcheva G., Koychev M., „Improvement of the dimension accuracy of the process for rapid prototyping of casting parts by reconfigurable facet molds”, VIII International congress machines, technologies, materials 2011, 19-21.09.2011, Varna, Bulgaria, 124-126

3. Тодоров Г., Софронов Я., Иванов Цв., „Изготвяне на мащабни физически прототипи за идентификация на функционални параметри“, Дни на механиката във Варна, в рамките на XII Национален конгрес по теоретична и приложна механика, 08-10/10/2013, Варна. стр. 102-105

4. Иванов Цв., Камберов К., Софронов Я., Тодоров Г., „Избор на материал и технология при компоноване и компонентна оптимизация на модулна система за високоскоростно прецизно рязане на листови материали“, сп. Машиностроене брой 5-6, година LXIII 2014, стр. 20-24.

5. Тодоров Г., Иванов Цв., Даскалова Д., Камберов К., „Подход за автоматизирано проектиране на модулни машини за рязане на листови материали“, 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на ТУ-София, Созопол 2015, стр. 419-425.

6. Иванов Цв., „Концепиране и конструиране на зареждаща система при високоскоростни отрезни машини с лазерен и плазмен източници на рязане“, 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на ТУ-София, Созопол 2015, стр. 377-383.

ABSTRACT

AUTOMATED DESIGN OF MODULAR SHEET-CUTTING MACHINES

Recently, we have observed an ever increasing use of technologies like plasma and laser cutting which are more widely used in the production process due to their efficiency and flexibility. Along with their high extent of automation, these technologies also feature high dynamic performance and precision of the geometric system movements.

Designing systems that cover a wide range of requirements is impossible with the traditional design approaches, especially when high-performance machines need to be built at a low cost.

For this reason, we need a new approach – one that is based on virtual technologies and modular principle – which, with a high degree of integration, takes into account the interrelations amongst various elements and defines the separate stages of the device design life-cycle – from the very idea to the prototype, operation, maintenance, repair and finally the recycling process.

This article examines the application of the modular principle and the employment of virtual engineering technologies in the design of sheet-cutting systems in order to maximize their potential capabilities.

Благодарности:

Изказвам най-сърдечни благодарности на научните си ръководители проф. д-р инж. Галина Николчева и проф. д-р инж. Георги Тодоров за безценната и непрестанна подкрепа от тяхна страна при разработването на дисертационния труд.

Благодаря също така на колегите от лаборатория "CAD/CAM/CAE в индустрията", където работя. За тяхната безкористна помощ, споделянето на безценен инженерни опит и познания, благодарение на които дисертационният труд получи завършен вид.

Благодаря на катедра ТМММ, обучавала ме през годините и предоставила ми възможност чрез преподаваната методология да израстна като специалист, както и за предоставената организационна помощ при разработването на моята дисертация в завършен вид.

От автора