

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЕКТИРАНЕТО НА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ – МЕТОДИ И ПОДХОДИ

## FIXTURE DESIGN AUTOMATION – METHODS AND APPROACHES

Маг. Инж. Михайлов О. Д.  
Технически университет – София, България

omihaylov@tu-sofia.bg

**Abstract:** For manufacturing companies is very important to be first on the market and to be able to present variety of new products. To achieve that it is necessary their production system to be flexible enough for rapid production of various products. One of the factors that determine the flexibility of a production system is the use of suitable fixtures to locate and secure the workpiece. The design and manufacture of a fixture requires a lot of time and the associated costs are 10-20% of the total cost of a manufacturing system. Therefore automation of the processes for fixture design is necessary.

This paper contains a review of variety of methods and approaches for the automation of fixture design and marks the issues that remain unresolved.

**Keywords:** FIXTURES, FIXTURES PLANING, COMPUTER-AIDED FIXTURE DESIGN, CAFD

### 1. Увод.

За компаниите, занимаващи се с производство, сред най-важните приоритети е заемане на лидерска позиция на пазара. За тази цел е важно да се произвеждат и пускат на пазара висококачествени и разнообразни продукти, преди конкуренцията. Това, заедно с непрестанното търсене от страна на клиентите на разнообразни продукти, налага разработването на гъвкави производствени техники за конструиране и производство на голямо разнообразие от продукти в кратки срокове [10].

Множество фактори допринасят за способността на една компания да постигне гъвкаво производство, един от които е използването на базиращи и закрепящи приспособления по време на производството, при което заготовките преминават през редица механични обработки, за да се получат индивидуалните детайли, които в последствие се сглобяват за получаване на крайния продукт. Приспособленията се използват за позициониране и обездвижване на обработваемия детайл по време на механичната обработка. Те имат две основни функции: (1) да позиционират детайла на определена позиция спрямо режещия инструмент; (2) да задържи детайла на тази позиция, така че той да не се премести по време на обработката. В резултат на тези две изисквания, структурата на приспособленията трябва да бъде проектирана по такъв начин, че закрепянето на заготовката да има добра повторяемост на позицията и да осигурява пълна неподвижност [51].

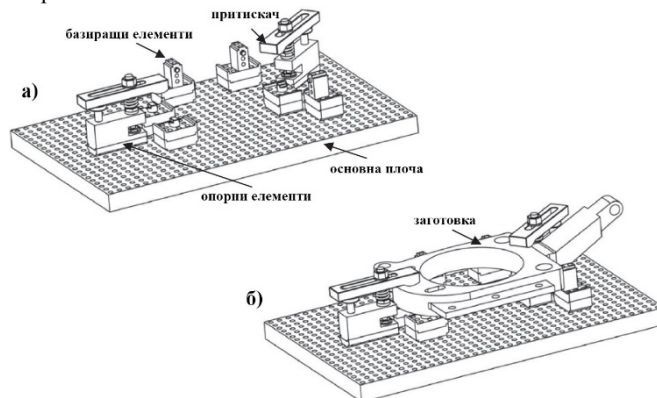
Закрепянето влияе пряко върху качеството на обработката, продуктивността и цената на продукта. Всъщност разходите, свързани с конструирането и производството на приспособления, възлизат на 10-20% от общата цена на производствената система [6]. Тези разходи включват не само производството, сглобяването и използването на приспособленията, а и тяхното конструиране, така че има значителни плюсове от намаляването на разходите за проектиране, свързани с приспособленията. Правилният избор на дизайна на използваните приспособления е ключов за качеството на продукта по отношение на прецизност, точност и окончателна обработка. Традиционно машинните приспособления се конструират и произвеждат по метода проба-грешка, който се е доказал като скъп и времепоглъщащ за производствения процес.

За да се гарантира, че един детайл ще бъде изработен съгласно специфични размери и изисквания за точност, той трябва да бъде правилно позициониран и закрепен, което прави много

важно разработването на инструмент, който ще елиминира метода проба-грешка при проектирането и производството на приспособленията [66].

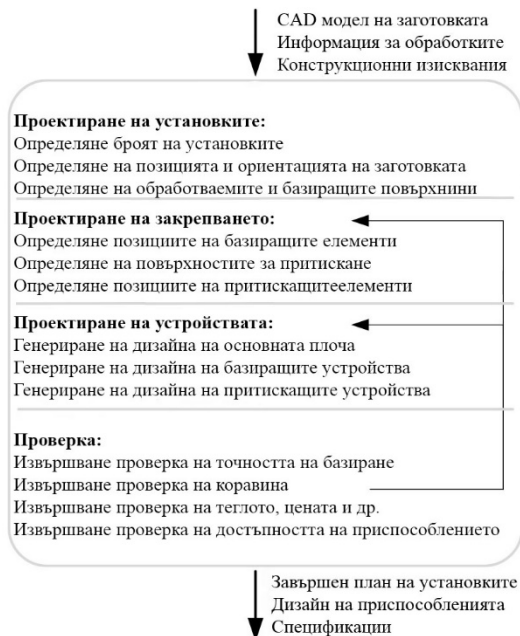
### 2. Проектиране на приспособления за базиране и закрепяне.

Приспособленията, използвани при машинна обработка, представляват системи от елементи, включващи базова плоча и устройства за базиране и закрепване на детайла/заготовката. На фиг. 1 е представен пример за приспособление, при което детайлът е базиран върху базиращи елементи, определящи точно местоположението му [10]. Затягащите устройства притискат детайла към тях и гарантират положението му по време на обработките. Те се състоят от опорни елементи и притискачи, които контактуват с детайла и предават сила за закрепяне.



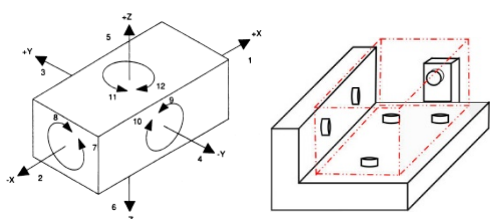
Фиг. 1. Приспособление с и без заготовка [10].

Обикновено процесът на проектиране на приспособления се състои в определянето на положенията на притискачите, базиращите и опорните елементи и правилният им избор. Има 4 основни фази: проектиране на установките, проектиране на закрепването, проектиране на елементите, изграждащи приспособлението и проверка на конструкцията (фиг. 2) [28].



Фиг. 2. Етапи на проектирането на приспособления.

- i) В първата фаза (Проектиране на установките) се определя броят на установките, необходими, за да се изпълнят всички машинни обработки, измервания и т.н., вида на обработките и заготовките, положението и ориентацията на детайла при всяка обработка. Една установка представлява комбинацията от всички процеси, които могат да бъдат извършени върху детайла, без неговите позиция и ориентация да бъдат променени ръчно.
- ii) Във втората фаза (Проектиране на приспособленията) се определят повърхностите, с които трябва да контактуват елементите на приспособленията и местата, на които ще се прилагат силите на закрепяне. Броят и положението на базиращите елементи трябва да бъдат такива, че на заготовката да ѝ бъдат отнети 6<sup>-те</sup> степени на свобода по време на обработките (фиг. 3а), например чрез базиране по схемата 3-2-1 (фиг. 3б).



Фиг. 3. Степени на свобода на детайл [10] и отнемането им по схема 3-2-1 [51].

В тази фаза се генерират изискванията към приспособленията. Те могат да се разделят в 6 групи (Таблица 1).

Таблица 1. Изисквания към приспособленията [10].

Групи изисквания	Примерни изисквания
Физически	<ul style="list-style-type: none"> <li>Приспособлението трябва да отговаря на геометрията на детайла и да може да понесе теглото му.</li> <li>Приспособлението трябва да позволява достъп до обработваемите повърхности на детайла.</li> </ul>
Допуски	<ul style="list-style-type: none"> <li>Допуските за база на приспособлението трябва да гарантират спазването на допуските предвидени за детайла.</li> </ul>
Ограничения	<ul style="list-style-type: none"> <li>Приспособлението трябва да гарантира стабилността на детайла през цялото време.</li> <li>Приспособлението трябва да гарантира коравината на системата детайл-приспособление, така че да не се появят непредвидени отклонения в размерите и допуските.</li> </ul>

Достъпност	<ul style="list-style-type: none"> <li>Цената на приспособлението не трябва да надхвърля определената стойност.</li> <li>Времето за сглобяване/разглобяване на приспособлението не трябва да надвишава определената стойност.</li> <li>Времето за опериране с приспособлението не трябва да надвишава определената стойност.</li> </ul>
Предпазване от сблъсък	<ul style="list-style-type: none"> <li>Приспособлението не трябва да позволява контакт на режещият инструмента с някой от елементите му.</li> <li>Приспособлението не трябва да позволява нежелан контакт на заготовката/детайла с някой от елементите му.</li> <li>Приспособлението не трябва да позволява нежелан контакт между своите елементи.</li> </ul>
Използваемост	<ul style="list-style-type: none"> <li>Масата на приспособлението не трябва да надвишава определената стойност.</li> <li>Приспособлението не трябва да нанася детайла в точките на контакт с него.</li> <li>Приспособлението трябва да позволява свободен достъп на режещите и измервателни инструменти до обработваемите повърхнини.</li> <li>Приспособлението трябва да не позволява на детайла да се установява по начин, различен от предвиденият (напр. на обратно).</li> <li>Приспособлението трябва да подпомага отвеждането на стружките от работната повърхност.</li> </ul>

Групата „Физически изисквания“ е основна и е свързана с подсигуриране на възможностите на приспособлението физически да поддържа детайла. Изискванията за допуските подсигурират, че разположението на елементите е подходящо за прецизното позициониране на детайла, а изискванията за ограничаване осигуряват запазването на това положение под въздействието на силите на рязане. Изискванията за достъпност се отнасят за финансовата страна на проектирането, предвиждайки разходите за материали, обработка и сглобяване/разглобяване. Изискванията в групата „Предпазване от сблъсък“ се фокусират върху това да няма нежелани контакти м/у отделните елементи на приспособлението, м/у приспособлението и детайла или инструмента. Използваемостта на приспособленията се състои в това то да не превишава дадени ограничения, като например тегло, сила на притискане и др., както и да не възпрепятства работата на други елементи свързани с контрол, стружкоотвеждане и т.н.

iii) В третата фаза (Проектиране на устройствата) се генерират/избират подходящите устройства – базиращи, затягащи, опорни, както и основната плоча.

iv) В четвъртата фаза (Проверка) се проверява дали конструкцията отговаря на всички изисквания, заложили в дизайна на готовия детайл. Конструкцията трябва да се провери дали отговаря и на други изисквания, като например цена и тегло на приспособлението, необходимо време за сглобяване, поставяне и сваляне на заготовката/детайла и др.

### 3. Компютърно подпомогнато проектиране на приспособления (CAFD).

Както бе споменато в началото, процесът на проектиране на приспособления е времепоглъщащ и може да се окаже много скъп, поради честото използване на метода проба-грешка. Поради тези причини разработването на автоматизирани системи за проектиране на приспособления е много важен проблем. С използването на такива системи може да се съкрати времето за проектиране, чрез използване на бази данни с готови приспособления, използване на универсални сглобяеми приспособления на базата на модули, по-бързо нанасяне на корекции в дизайна на приспособленията, бърза и точна проверка на стабилността на дизайна (напр. чрез използване на

Метод на крайните елементи) и др. Освен това се съкращават разходите и материалите за производство на предварителни (грешни) конструкции.

Автоматизацията на процеса се извършва успешно с използването на системи за компютърно подпомогнато проектиране на приспособления (Computer Aided Fixture Design - CAFD). Тези системи се използват за частично или пълно автоматизиране на процеса на проектиране на приспособления, като целта е генериране на подходяща конструкция за кратък период от време, като се сведе до минимум субективното влияние на конструктора. Като се вземе предвид структурната и функционалната организация на една автоматизирана система за конструиране/проектиране, както и всичките ѝ свойства, може да се каже, че всички такива системи се характеризират от наличието на 6 основни конструктивни елементи [64]:

- технически основи – хардуерът, който трябва да има висока работна скорост, голяма памет, да бъде качествен, надежден и т.н.;
- база данни – стандартизирани елементи, универсални приспособления, предишни решения и др.;
- софтуерна система – състояща се от две части: оперативна и приложна;
- човешки ресурси – за разработване, използване и поддръжка на системата;
- входяща информация – конструктивна информация за детайла, технологична информация и информация относно организацията на работата;
- изходяща информация – информация (чертежи, физически данни, икономически резултати и др.) за приспособлението като цяло и за всеки отделен елемент.

#### 4. Методи за автоматизация на проектирането на приспособления.

Автоматизацията на проектирането на приспособления чрез използването на CAFD системи е особено важно за конкурентоспособността и влиянието им нараства с подобряването на възможностите CAD/CAM системите и внедряването на методи, използващи изкуствен интелект (AI) [15]. Въпреки че САМ системите покриват много от производствените дейности (напр. генериране на пътя на инструмента), пълната автоматизация на САFD все още не е постигната. Основното предизвикателство тук е как да се компютризируют човешките знания и опит, така че да бъдат използвани от системата. Множество методи се използват за постигането на тази цел, като най-често използваните са описани по-долу.

##### 4.1. Експертни системи.

Те са един от класовете системи с изкуствен интелект, които могат да получават, натрупват и коригират знания от определена предметна област, да осъществяват извод на нови знания, да решават различни практически задачи на базата на натрупаните знания и да обясняват получените резултати и пътя на решението [78]. В изкуствения интелект, експертна система се нарича компютърна система, която наподобява способността за вземане на решения от човек, експерт в дадена област. Експертните системи са предназначени за решаване на сложни проблеми, като правят изводи въз основа на зададена база знания, а не следвайки последователност от процедури написани от програмист, какъвто е случаят в конвенционалното програмиране. Начинът им на действие се базира на въведените знанията на експертите, оформени във вид на последователност от множество правила тип АКО-ТОГАВА (IF-THEN). При задаване на данни за проблема, чрез

серия от въпроси и отговори, основани на тези правила, се генерира решение.

Kumar представя рамка, с която да се автоматизира процесът на проектиране на приспособления. Тя комбинира математически анализи и експертни системи[44]. Резултатът, извеждан от системата, е последователност за сглобяване на елементите в приспособлението. Nnaji и Aladin предлагат структура на експертна система за CAFD [46]. Те прилагат IF-THEN правилата, за да развият знанията, и системата PROLOG като експертен подход за създаване на правилата за проектирането. Основен проблем при този метод е невъзможността да се предаде практическият опит на конструкторите, както и проблем със създаването на достатъчен брой правила за получаването на решения с високо качество и точност.

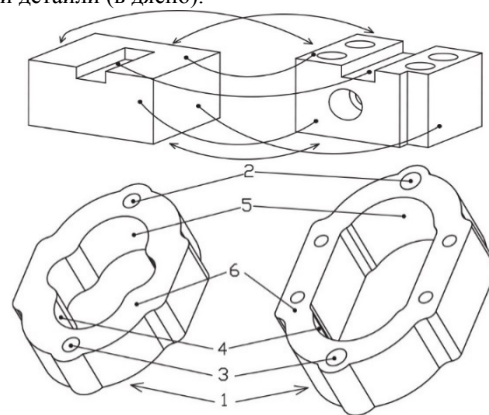
##### 4.2. Логика, базирана на предишни решения.

CBR (Case-based reasoning) е процес, който може да се използва за решаване на проблеми, използвайки решения на подобни проблеми, т.е. като използва предишен опит. Той се състои от 4 етапа:

- търсене в паметта на случай подобен на настоящия проблем;
- повторно използване на решението;
- проверка и преработка на решението за новия проблем;
- съхраняване на новото решение в паметта.

Подобие то между два детайла обикновено се характеризира чрез индексиранието им според вида им, допуските, характерни повърхнини и т.н.

На фиг. 4 са показани два случая, в които се използват по-прости детайли (в ляво), на които вече са конструирани и успешно използвани приспособления за закрепяне, с цел да се използват за база за проектиране на закрепването на нови, подобни детайли (в дясно).



Фиг. 4. Примери за детайли със сходни характеристики [51].

Разработват се различни начини за използване на CBR метода в проектирането на приспособления. Kailing и др. са го приложили в САFD система, като са добавили правила и база от знания (експертна система) за проектиране на подходящ дизайн [27]. Boyle и Kevin са представили методология, наречена CAFixD, в която е приложен CBR метода. Целта им е обхващането на пълния процес на проектиране на приспособления[9].

Проблемът с използването на готови решения е, че не винаги има такива, а когато има не е гарантирано, че сходството на проблемите означава сходство в решенията. Друг недостатък е това, че повечето приложения на CBR са само за призматични детайли.

##### 4.3. Генетичен алгоритъм.

Генетичните алгоритми (ГА) се основават на принципите на естествената еволюция (генетичното унаследяване и

оцеляването на по-силния), която може да се представи като оптимизация. Тя протича по следният начин:

Генерират се множество от потенциални решения. Всяко решение се оценява, за да се прецени колко добро е то. Добрите решения се комбинират, за да се получи по-добро. Този цикъл продължава, с надеждата, че размножаването (комбинирането) на добри решения постепенно ще води до размножаването на все по-добри и по-добри решения. Цикълът се прекратява при достигане на „достатъчно“ добро решение (отговарящо на предварително определени условия или влизашо в предварително определени граници) или при достигане на максимален брой „поколения“.

Krishnakumar и Melkote [33] са използвали ГА за оптимизиране на дизайна като използват 2D геометричен подход. Chen и др. са използвали ГА като са включили инструментите за директно търсене на MATLAB да оптимизират притискащата сила и да контролират деформацията по време на проектирането [12]. За изчисляване на деформациите са използвали софтуерния пакет на ANSYS, а за получаване на гъвкава конструкция са използвали анализи на крайните елементи (FEA). Nemedi предлага подход за комбинирането на ГА и други методи, включително Невронни мрежи.

Основен недостатък е това, че ГА не може да автоматизира целия процес, както и че се използва главно за базиране тип 3-2-1, който е приложим само за призматични детайли.

#### 4.4. Размита логика.

Размитата логика е математическа система, която анализира входящи аналогови стойности във вида на логически променливи, които приемат стойности от 0,0 до 1,0, като така се различават от класическата или дигиталната логика, която работи само с дискретни стойности 1 (вярно) и 0 (невярно). Понятието „размит“ не трябва да се приема буквално и да се приема че получените резултати са неясни и неточни. С него се има предвид, че метода борави с концепции, които не могат да се определят като „верни“ или „неверни“, а по-скоро като „частично верни“. Този метод се използва най-вече за автоматизиране на избора на базиращи елементи, място и начин на базиране на детайла.

Размитата логика е използвана от Martin и Lombard в техния метод, който определя подходящи системи за позициониране [42]. Те определят че размерите на основната плоча и материала за детайлите са главните критерии за една позиционираща система. При този метод правилата IF-THEN са използвани за определяне на критериите за позициониране. Zhang и Peng представиха система, комбинираща размита логика и логика, базирана на правила (RBR) [76]. Тяхната система е разделена на две подсистеми – подсистема, планираща установките и подсистема проектираща приспособленията.

Недостатък е, че методът е по-подходящ за специфични модулни конструкции (УСП), отколкото за общо приложение.

### 5. Подходи.

В този раздел се разглеждат някои подходи за автоматизиране на проектирането на приспособления, като се обръща внимание на това, как тези подходи засягат 4-те фази (фиг. 2.).

#### 5.1. Проектиране на установките.

Главната задача на тази фаза е групирането на обработваеми повърхнини, които могат да се обработят на една установка. Групирането на повърхнините зависи от множество фактори (предписани допуски и отклонения между повърхнините, посока на движение на режещия инструмент, последователност

за обработване и др.) и са разработени много методи за улесняването на тази фаза.

Използването на теория на графите за определяне и представяне на установките е сред най-използваните подходи [59,77]. Графите се състоят от два елемента: върхове, представящи конструктивните особености на заготовката, и ребра, представящи връзките между конструктивните особености. Техният характер може да бъде различен, например според Sarma и Wright [59] най-важна е връзката между последователно обработваните повърхнини, докато Huang и Zhang [21] се фокусират върху допуските и отклоненията, свързващи повърхнините. На ребрата може да се даде различна „тежест“ спрямо важността на допуските, следователно този подход може да се използва и за улесняване на определяне на установките като намали натрупването на грешките. Тъй като сравняването на „тежестта“ на различните видове допуски е трудно, Huang [22] включва фактори [7], които да го улеснят. Тези фактори са преработени и разширени от Huang и Liu [20], за да отговорят на по-голямо разнообразие от изисквания и на случаи, при които има множество изисквания към една група повърхнини.

Докато някои методи използват индиректни графове за улесняване на определянето на установките [77], Yao и др. [73], Zhang и Lin [74] и Zhang и др. [75] използват директни графове, с които може с точност да се определи кои повърхнини да се използват за основни базиращи.

Опит и знания, във вид на евристични правила, също се използват за улесняване на проектирането на установките. Обикновено тези знания се използват във вид на емперично изведени евристични правила, но понякога се използват и в обектно ориентирани подходи [70]. Например Gologlu [18] използва комбинация от евристични правила и геометрични логически изводи за групирането и определяне на приоритета на обработваемите повърхнини и избора на базиращи повърхнини. При такива евристични подходи основния фокус обикновено е върху физическите особености на повърхнините и механичните процеси, с които се получават [54,26], но има и такива, които обръщат внимание и на допусковите изисквания [4].

Подходи, основани на матрици, също се използват за подобряване на проектирането на установките, като се използват за определяне на групите повърхнини. Ong и др. [49] представят матрица, която може да определи последователността, по която да се обработят повърхнините, и която се оптимизира с хибриден генетичен алгоритъм-симулатор, чрез множество икономически индикатори (напр. цена на инструментите). Hebbal и Mehta [19] са генерирани матрица за първоначално групиране на повърхнините, базирана на посоката на навлизане на инструмента в материала. В последствие тази матрица се променя чрез включването на алгоритми, вземащи предвид базиращите повърхнини и зададените допуски и отклонения.

Друг подход, който е в процес на проучване, е използването на невронни мрежи. Ming и Mak [43] използват подход, при който информацията за важността на обработките, посока на навлизане на инструмента и допуските се въвежда в самоорганизиращата се невронна мрежа на Кохонен, която групира операциите за индивидуалните повърхнини при едно установяване.

#### 5.2. Проектиране на закрепването.

Този етап включва изчерпателно дефиниране на изискванията за закрепването (табл. 1) и създаването на план за конструкцията на приспособлението, с който се уточняват точките на контакт на заготовката с базиращите и затягащите елементи.

Изчерпателното дефиниране на изискванията често се пренебрегва, като се наблюдава само на една или някои от групите. Например Zhang и колектив [75] дефинират изискванията към допуските на приспособленията чрез анализ на допуските на заготовките. Тези изисквания след това се използват като основни за проектирането на приспособлението. Аналогично в други разработки се обръща внимание само на силите на затягане [14,39].

Boyle и колектив [8] използват по-цялостен подход, който първоначално разделя изискванията по групи, а след това ги обобщава чрез серия от анализи. Hunter и др. [23,24] също се фокусират върху по-обобщени изисквания, но наблягат основно на тези от групите „Физически“ и „Ограничения“.

Планирането на конструкцията се занимава с идентифицирането на начините на базиране, които определят броя и общото разпределение на точките на базиране и затягане, повърхностите на заготовката, с които контактуват и координатите на контактните повърхности. За планиране на конструкцията без оптимизиране се използват подходи, базирани на придобити опит и знания. Освен подходи, базирани на правила [18,25,45] (подобни по своята същност на разгледаните в точка 5.1.), се използват и такива, базирани на предишни решения. При използването на CBR се получава конструкционен план за приспособлението, чрез извличане на план, използван за подобен детайл от библиотеката [1,38,65]. Lin и Huang [40] използват подобен подход за класифициране на заготовките, но извличането на плановете се извършва с невронна мрежа. Roy и Liao [58] разработват система за проверка на избрания план и коригирането му при нужда. Те използват деформационни анализи и, ако деформацията на заготовката е твърде голяма, се използват евристични правила за избор на ново базиране и затягане.

Изготвянето на конструкционен план с оптимизиране е често срещано в CAFD системите и се използва с отчитане на стабилността и деформацията на заготовката. Оптимизацията, свързана със стабилността, обикновено се фокусира върху изготвянето на конструкционен план, който да отговаря на кинематичните ограничения. Този план след това се оптимизира спрямо определени правила, базирани на стабилността на системата (например минимизиране на силите в точките на контакт на заготовката с базиращите и/или затягащите елементи) [11,50,68]. Wu и Chan [69] се фокусират върху оптимизация на стабилността, като използват генетичен алгоритъм, който често се използва и в оптимизацията на база на деформациите. Най-често изпитването на деформациите се извършва с помощта на анализи на крайните елементи, при които заготовката се дискретизира с цел създаване на множество възли, които са потенциални точки за контакт с базиращите и притискащите елементи (Kashyap и DeVries [29]). Избира се група от контактни точки, които се проверяват, а ГА се използва за избор на нова група точки до достигане на оптимално решение, минимизиращо деформациите, причинени от силите на рязане и затягащите сили [31,32]. Някои CAFD системи не използват възли, а задават геометрични данни (напр. координати) в ГА, което в някои случаи подобрява точността на анализа [30,63].

Други методи, използвани за постигане на оптимизация, са псевдоградиентни методи [5,13,37]. Vallaruzha и др. [62] сравняват ГА и псевдоградиентните методи и достигат до заключението, че ГА методите имат по-високо качество на оптимизация, тъй като търсят глобално решение, докато псевдоградиентните методи се фокусират на локални оптимуми.

### 5.3. Проектиране на устройствата.

Този етап включва концептуалното и детайлното дефиниране на базиращите и затягащите устройства на приспособлението, заедно с основната плоча, на която се закрепят. В повечето случаи се обръща по-малко внимание на проектирането на устройствата на приспособленията в сравнение с предходните етапи, но въпреки това са разработени множество методи за подпомагането му.

Концептуалният дизайн се фокусира върху дефинирането на видовете и броя на елементите, които изграждат отделните устройства, както и начина им на сглобяване. Както с предходните два етапа и тук най-често се използват подходи, базирани на правила, при които се използват евристични правила за избора на елементите, от които ще се сглобят устройствата. Те трябва да отговорят на определени изисквания, като например вида на контактните повърхности, операциите, които ще се извършват на тази установка и т.н. [45,47,48,52,71]. В добавка към евристичните правила Kumar и др. [36] използват методи с индуктивна логика, с които се създават „дървета“ с решения. От тях, чрез изследване на пътя на всяко „дърво“, могат да се изведат необходимите правила за закрепването. В друга разработка Kumar и др. [34] използват комбинация от ГА и невронни мрежи. ГА генерира възможни решения, а невронната мрежа, обучена с избрани предишни случаи и решения, ги оценява. Lin и Huang [40] също използват невронни мрежи, но в комбинация с опростен CBR метод, в който са кодирани предишни решения по отношение на тяхната геометрична структура. От друга страна Wang и Rong [65] и Boyle и др. [8] използват обикновен CBR подход за извличането на готови устройства, които след това се модифицират по време на детайлния дизайн.

Много от системите, използвани при концептуалния дизайн, се използват и при детайлния дизайн. Той включва определянето на физическите характеристики на устройствата (размери, материал, вид и т.н.). Геометрията, в частност височината на базиращите и затягащите устройства, играе важна роля при проектирането на отделните устройства [56,72]. An и др. [3] са разработили система, базирана на геометрични характеристики, при която се генерират размерите на индивидуалните елементи като зависимост от водещ размер (напр. работната височина на устройството). Често се използват подходи, базирани на правила, при които информацията за заготовката и конструктивния план на приспособлението се използва за избора на елементи с подходящи размери и сглобяването им в устройство [24,47,48].

Подходите, базирани на геометрични характеристики и на правила, обикновено не взимат предвид силата, която ще понасят устройствата.

### 5.4. Проверка.

Тази фаза има за цел да потвърди дали разработения в предходните етапи дизайн на приспособлението отговаря на всички изисквания. От представените в Таблица 1 групи изисквания, най-силно внимание се отделя на „Ограничения“, а най-малко – на „Достъпност“ и „Използваемост“.

Проверката на група „Ограничения“ се фокусира главно върху стабилността и деформацията. Някои подходи за анализ на стабилността са аналитични и се фокусират върху изравняването на силите и моментите, предизвикани от режещите и затягащите сили [28,41,61,72]. Други не са толкова строги и използват базиращите повърхнини, за да определят дали са отнети шестте степени на свобода [8,60]. Анализът на деформациите се фокусира основно върху оценяване на деформациите на заготовката чрез използване на анализи на крайните елементи [2,29,55,58]. Както бе споменато вече, тези проверки често се правят по време на оптимизацията. Rai и



Xirouchakis [53] разширяват използването на анализите на крайните елементи, за да се взимат предвид ефекта от промяната на геометрията на заготовката при отнемането на материал. Анализът на деформацията на самото приспособление често се пренебрегва, а необходимите стойности се взимат готови от литературни източници.

Фокусът при изследванията на проверката на изискванията от група „Допуски“ варира. Например Wang [67] разработва метод за анализ на допуските и отклоненията, който изчислява ново положение на заготовката спрямо различни базирани елементи и повърхнини и техните геометрични грешки. Vansal и др. [4] от своя страна използват чувствителен анализ, използвайки различни базирани положения, за да определят кое от тях минимизира грешката при базиране. Трябва да се отбележи(,) че тези подходи не проверяват дали получената минимална грешка отговаря на предписаните допуски и отклонения. Kang и др. [28] директно свързват отклоненията на заготовката с грешките при базиране и изменят положението докато се задоволят предписаните изисквания.

При проверката на „Предпазване от сблъсък“ се следи да няма нежелан контакт между инструментите, заготовката и елементите на приспособлението или между самите елементи. Контактите между заготовката и приспособлението е сравнително лесен за проверка, тъй като много от CAFD системите имат тази възможност. С помощта на логика за геометрични ограничения може да се гарантира че отделните елементи на приспособлението няма да контактуват помежду си освен в определените за сглобяване повърхности [16]. Проверката за сблъсък инструмент-приспособление обаче е трудна. Kumar и др. [35] използват подход, който се състои в протегляне на напречното сечение на режещия инструмент по предвидения път за обработване. След това се извършва статична проверка, която да се увери, че протегленият профил не се пресича с никой от елементите на приспособлението. Roi и Liao [57], не само определят дали има сблъсък, но и, използвайки евристични правила, променят положението на елементите, за да го предотвратят.

Малкото подходи, ориентирани към проверка на „Достъпност“ и „Използваемост“, използват логика, базирана на правила, или генетичен алгоритъм [8,45,49].

## 6. Изводи.

С бързото развитие на производствените процеси и засилващото се търсене на нови и различни детайли все по-важно е за производителите да могат бързо и качествено да представят нови продукти на пазара. Важен фактор за постигането на това са приспособленията за закрепяне на детайлите по време на обработките, тъй като те имат важна роля в производството. Тъй като проектирането и производството на приспособления е дълъг и скъп процес, е наложително той да бъде автоматизиран. Въпреки че пълна автоматизация не е постигната все още, са налични множество методи за интерактивно и полуавтоматизирано проектиране. Сред основните недостатъци на наличните методи за автоматизация са:

- все още има нужда от контрол от страна на оператор;
- интерактивната работа все още е твърде бавна и оставя много възможности за човешка грешка;
- не достатъчно качество на методите за сглобяване на приспособленията и следене за възникнали грешки (в частност модулни конструкции);
- липса на методи, които могат да се използват за детайли със сложен дизайн и ротационно симетрични детайли.

Благодарности:

Настоящите изследвания са свързани с проект № BG051PO 001-3.3.06-0046 “Подкрепа за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени в областта на виртуалното инженерство и индустриалните технологии”. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] A.S. Kumar, A.Y.C. Nee, A framework for a variant fixture design system using CBR technique. In: MED manufacturing science engineering proceedings, San Francisco, 1995, 2.1/3-1, 1995, pp. 763–775.
- [2] Amaral N, Rencis JR, Rong Y. Development of a finite element analysis tool for fixture design integrity verification and optimization. Int J Adv Manuf Technol 2005;25:409–19.
- [3] An Z, Huang S, Rong Y, Jayaram S. Development of automated dedicated fixture design systems with predefined fixture component types: basic design. Int J Flex Autom Integr Manuf 1999;7(3 and 4):321–41.
- [4] Bansal S, Nagarajan S, Reddy NV. An integrated fixture planning system for minimum tolerances. Int J Adv Manuf Technol 2008;38:501–13.
- [5] Bazaraa MS, Sherali HD, Shetty CM. Nonlinear programming theory and algorithms. New York: John Wiley; 1993.
- [6] Bi ZM, Zhang WJ. Flexible fixture design and automation: review, issues, and future directions. Int J Prod Res 2001;39(13):2867–94.
- [7] Boerma JR, Kals HJJ. FIXES: a system for automatic selection of set-ups and design of fixtures. Ann CIRP 1988;37:443–6.
- [8] Boyle I, Rong Y, Brown DC. CAFixD: a case-based reasoning fixture design method: framework and indexing mechanisms. J Comput Inf Sci Eng 2006;6:40–8.
- [9] Boyle I. M., Kevin R., Brown D. C., "CAFixD: A Case-Based Reasoning Fixture Design Method. Framework and Indexing Mechanisms," DETC '04 ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Salt Lake, Utah USA, 2004, 1-9.
- [10] Boyle I., Rong Y., Brown D. C. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 2011; 27:1–12.
- [11] Brost RC, Goldberg KY. A complete algorithm for designing planar fixtures using modular components. IEEE Trans Robot Autom 1996;12(1):31–46.
- [12] Chen W., Ni L., Xue J., "Deformation control through fixture layout design and clamping force optimization," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 38, pp. 860-867, 2008.
- [13] De Meter EC. Fast support layout optimization. Int J Mach Tool Manuf 1998;38:1221–39.
- [14] Deng H, Melkote SN. Determination of minimum clamping force for dynamically stable fixturing. Int J Mach Tool Manuf 2006;46:847–57.
- [15] Farhan U. H. An Integrated Computer-Aided Modular Fixture Design System for Machining Semi-Circular Parts. 2013.
- [16] G. Peng, G. Wang, W. Liu, H. Yu, A desktop virtual reality-based interactive modular fixture configuration design system, Comput Aided Design, 2009, doi: 10.1016/j.cad.2009.02.003.
- [17] Gaoliang P., Gongdong W., Wenjian L., Haiquan Y. A desktop virtual reality-based interactive modular fixture configuration design system. Computer-Aided Design 2010; 42: 432-444.
- [18] Gologlu C. Machine capability and fixturing constraints-imposed automatic machining set-ups generation. J Mater

- Process Technol 2004;148:83–92.
- [19] Hebbal SS, Mehta NK. Setup planning for machining the features of prismatic parts. *Int J Prod Res* 2007;46(12):3241–57.
- [20] Huang S, Liu Q. Rigorous application of tolerance analysis in setup planning. *Int J Adv Manuf Technol* 2003;3:196–207.
- [21] Huang S, Zhang H-C. Tolerance analysis in setup planning for rotational parts. *J Manuf Syst* 1996;15(5):340–50.
- [22] Huang S. Automated setup planning for lathe machining. *J Manuf Syst* 1998;17(3):196–208.
- [23] Hunter R, Rios J, Perez JM, Vizan A. A functional approach for the formalization of the fixture design process. *Int J Mach Tool Manuf* 2006;46: 683–97.
- [24] Hunter R, Vizan A, Perez J, Rios J. Knowledge model as an integral way to reuse the knowledge for fixture design process. *J Mater Process Technol* 2005;164–165:1510–8.
- [25] Joneja A, Chang T-C. Setup and fixture planning in automated process planning systems. *IIE Trans* 1999;31:653–65.
- [26] K. Waiyagan, E.L.J. Bohez, Intelligent feature based process planning for five-axis mill-turn parts, *Comput Ind*, 2008, 10.1016/j.compind.2008.09.009.
- [27] Kailing L., Ran L., Guiheng B., Peng Z., "Development of an intelligent jig and fixture design system," 7th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2006, 1-5.
- [28] Kang Y, Rong Y, Yang J-C. Computer-aided fixture design verification. *Int J Adv Manuf Technol* 2003;21(10–11):827–49.
- [29] Kashyap S, DeVries WR. Finite element analysis and optimization in fixture design. *Struct Optim* 1999;18:193–201.
- [30] Kaya N. Machining fixture locating and clamping position optimization using genetic algorithms. *Comput Ind* 2006;57:112–20.
- [31] Krishnakumar K, Melkote SN. Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm. *Int J Mach Tool Manuf* 2000;40:579–98.
- [32] Krishnakumar K, Satyanarayana S, Melkote SN. Iterative fixture layout and clamping force optimization using the genetic algorithm. *J Manuf Sci Eng* 2002;124:119–25.
- [33] Krishnakumar K., Melkote S. N., "Machining fixture layout optimization using the genetic algorithm," *International journal of machine tools & manufacture*, vol. 40, pp. 579–598, 2000.
- [34] Kumar AS, Subramaniam V, Seow KC. Conceptual design of fixtures using genetic algorithms. *Int J Adv Manuf Technol* 1999;15:79–84.
- [35] Kumar AS, Subramaniam V, Teck TB. An automated design and assembly of interference-free modular setup. *Comput Aided Des* 2000;32:583–96.
- [36] Kumar AS, Subramaniam V, Teck TB. Conceptual design of fixtures using machine learning techniques. *Int J Adv Manuf Technol* 2000;16:176–81.
- [37] Li B, Melkote SN. Improved workpiece location accuracy through fixture layout optimization. *Int J Mach Tool Manuf* 1999;39:871–83.
- [38] Li W, Li P, Rong Y. Case-based agile fixture design. *J Mater Process Technol* 2002;128:7–18. [36]
- [39] Liao YJG, Hu SJ. Flexible multibody dynamics based fixture workpiece analysis model for fixturing stability. *Int J Mach Tool Manuf* 2000;40: 343–62.
- [40] Lin Z-C, Huang J-C. The application of neural networks in fixture planning by pattern classification. *J Intell Manuf* 1997;8:307–22.
- [41] Liu JJ-X, Strong DR. Machining fixture verification for nonlinear fixture system. *Int J Adv Manuf Technol* 2003;21:426–37.
- [42] Martin P., Lombard M., "Modelling knowledge related to the allocation of modular jigs for part fixturing using fuzzy reasoning," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 28, pp. 527–531, 2006.
- [43] Ming XG, Mak KL. Intelligent setup planning in manufacturing by neural networks based approach. *J Intell Manuf* 2000;11:311–31.
- [44] Nee A. Y. C., Kumar A. S., "A Framework for an Object/Rule-Based Automated Fixture Design System," *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, vol. 40, pp. 147–151, 1991.
- [45] Nee AYC, Kumar AS. A framework for an object/rule-based automated fixture design system. *Ann CIRP* 1991;40(1):147–51.
- [46] Nnaji B. O., Alladin S., "E-CAFFS: An expert computer-aided flexible fixturing system," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 18, pp. 297–311, 1990.
- [47] Nnaji BO, Alladin S, Lyu P. A framework for a rule-based expert fixturing system for face milling planar surfaces on a CAD system using flexible fixtures. *J Manuf Syst* 1988;7(3):193–207.
- [48] Nnaji BO, Alladin S. E-CAFFS: an expert computer-aided flexible fixturing system. *Comput Ind Eng* 1990;18(3):297–311.
- [49] Ong SK, Ding J, Nee AYC. Hybrid GA and SA dynamic set-up planning optimization. *Int J Prod Res* 2002;40:4697–719.
- [50] Pelinescu DM, Wang MY. Multi objective optimal fixture layout design. *Robot Comput Integr Manuf* 2002;18:365–72.
- [51] Peng G., Chen G., Wu C., Xin H., Jiang Y. Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications* 2011; 38: 26–38.
- [52] Perremans P. Feature-based description of modular fixturing elements: the key to an expert system for the automatic design of the physical fixture. *Adv Eng Software* 1996;25:19–27.
- [53] Rai JK, Xirouchakis P. Finite element method based machining simulation environment for analyzing part errors induced during milling of think-walled components. *Int J Mach Tool Manuf* 2008;48:629–43.
- [54] Rameshbabu V, Shunmugam MS. Hybrid feature recognition method for setup planning from STEP AP-203. *Robot Comput Integr Manuf* 2009;25: 393–408.
- [55] Ratchev S, Phuah K, Liu S. FEA-based methodology for the prediction of part- fixture behaviour and its applications. *J Mater Process Technol* 2007;191: 260–4.
- [56] Rong Y, Bai Y. Automated generation of fixture configuration design. *ASME Trans Manuf Sci Eng* 1997;119(2):208–19.
- [57] Roy U, Liao J. Application of a blackboard framework to a cooperative fixture design system. *Comput Ind* 1998;37:67–81.
- [58] Roy U, Liao J. Geometric reasoning for re-allocation of supporting and clamping positions in the automated fixture design system. *IIE Trans* 1999;31:313–22.
- [59] Sarma SE, Wright PK. Algorithms for the minimization of setups and tool changes in 'simply fixturable' components in milling. *J Manuf Syst* 1996;15(2):95–112.
- [60] Song H, Rong Y. Locating completeness evaluation and revision in fixture plan. *Robot Comput Integr Manuf* 2005;21:368–78.
- [61] Trappey AC, Liu CK. An automatic workholding verification system. *Robot Comput Integr Manuf* 1992;9(4/5):321–6.
- [62] Vallapuzha S, De Meter EC, Choudhuri S, Khetan RP. An investigation of the effectiveness of fixture layout optimization methods. *Int J Mach Tool Manuf* 2002;42:251–63.
- [63] Vallapuzha S, De Meter EC, Choudhuri S, Khetan RP. An investigation into the use of spatial coordinates for the genetic algorithm based solution of the fixture layout optimization problem. *Int J Mach Tool Manuf* 2002;42:265–75.

- [64] Vukelic D., Hodolic J. Computer aided fixtures design. University of Novi Sad. Faculty of Technical Sciences. 47-th anniversary of the faculty. 2007: 21-26
- [65] Wang H, Rong Y. Case based reasoning method for computer aided welding fixture design. *Comput Aided Des* 2008;40:1121–32.
- [66] Wang H., Rong Y., Li H., Shaun P. Computer aided fixture design: Recent research and trends. *Computer-Aided Design* 2010; 42: 1085–1094.
- [67] Wang M. Tolerance analysis for fixture layout design. *Assem Autom* 2002;22: 153–62.
- [68] Wang Y, Chen X, Liu Q, Gindy N. Optimisation of machining fixture layout under multi-constraints. *Int J Mach Tool Manuf* 2006;46:1291–300.
- [69] Wu NH, Chan KC. A genetic algorithm approach to optimal fixture configuration. *Comput Ind Eng* 1996;31(3/4):919–24.
- [70] Wu R-R, Zhang H-M. Object-oriented and fuzzy set-based approach for set-up planning. *Int J Adv Manuf Technol* 1998;14:406–11.
- [71] Wu Y, Rong Y, Chu TC. Automated generation of dedicated fixture designs. *Int J Comput Appl Technol* 1997;10(3/4):213–35.
- [72] Wu Y, Rong Y, Ma W, LeClair SR. Automated modular fixture planning. *Robot Comput Integr Manuf* 1998;14:1–26.
- [73] Yao S, Han X, Yang Y, Rong Y, Huang SH, Yen DW, Zhang G. Computer-aided manufacturing planning for mass customisation: part 2, automated setup planning. *Int J Adv Manuf Technol* 2007;32:205–17.
- [74] Zhang H-C, Lin E. A hybrid-graph approach for automated setup planning in CAPP. *Robot Comput Integr Manuf* 1999;15:89–100.
- [75] Zhang Y, Hu W, Rong Y, Yen DW. Graph-based setup planning and tolerance decomposition for computer-aided fixture design. *Int J Prod Res* 2001;39(14): 3109–26.
- [76] Zhang Y., Peng G., "Development of an integrated system for setup planning and fixture design in CAPP," International conference on advanced intelligent mechatronics, Monterey, California, USA, 2005, pp. 1401-1406.
- [77] Zhou F, Kuo T-C, Huang SH, Zhang H-C. Form feature and tolerance transfer from a 3D model to a set-up planning system. *Int J Adv Manuf Technol* 2002;19:88–96.
- [78] В. Йоцов. Сигурност и защита на информацията, София, "ЗА БУКВИТЕ – О ПИСМЕНЕХЪ" 2006, с.34