

АВТОМАТИЗИРАНЕ ИЗБОРА НА ТОЧКИ ЗА БАЗИРАНЕ ПО МЕТОД 3-2-1 С МОДУЛ ЗА БАЗИРАНЕ, ИНТЕГРИРАН В SOLIDWORKS

AUTOMATION OF THE SELECTION OF THE POINTS IN LOCATION BY THE 3-2-1 PRINCIPLE USING A SOLIDWORKS INTEGRATED LOCATING MODULE

Проф. Николчева Г., Маг. Инж. Михайлов О.
Технически университет – София, България

ginic@tu-sofia.bg, omihaylov@tu-sofia.bg

Abstract: This paper presents a methodology for determining the positions of the locating pins for part location by the 3-2-1 principle. The coordinates of the pins are determined by mathematical formulas from the coordinates of the endpoints of the base surface or surfaces. If necessary these coordinates are subjected to corrections such as mirror positioning, increase/decrease the coordinates on one or both axis, etc. This methodology is used in a locating module, part of an application for automated design of modular fixtures integrated in SolidWorks.

Keywords: FIXTURES, LOCATING, COMPUTER-AIDED FIXTURE DESIGN, SOLIDWORKS, ADD-IN

1. Увод.

По време на механична обработка от голямо значение е положението на детайла/заготовката, тъй като то влияе директно върху качеството на обработката и точността на размерите. При машинната обработка геометричната точност на обработваният детайл зависи основно от относителното положение между заготовката и обработващия инструмент [6]. За да се гарантира, че обработките са изпълнени съгласно конструкторските изисквания е необходимо точно позициониране и сигурно закрепяне на заготовката [3]. В единичното, серийното и масовото производство тези функции изпълняват приспособленията за установяване.

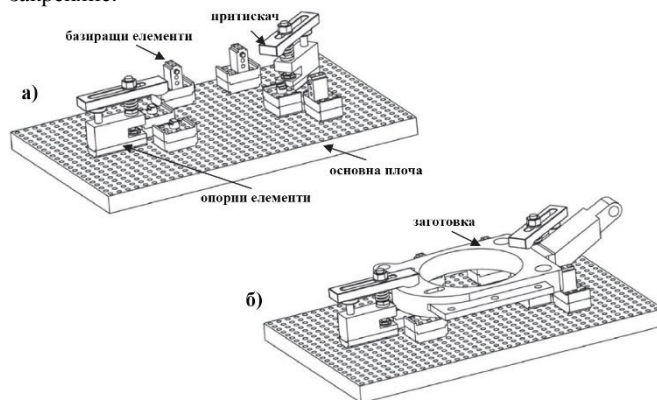
В момента модулният тип приспособления са най-широко използваните гъвкави приспособления в индустрията. Базирани на стандартизирането на елементите, изграждащи приспособленията, те са проектирани като групи от предварително изработени стандартни елементи и единици. Те имат относително тесни геометрични допуски, които могат да бъдат сглобени бързо в различни конструкции за базиране и закрепяне на детайли с различна геометрия и изисквания. След приключване на всички обработки, модулните приспособления могат да бъдат разглобени и използвани отново за други детайли и обработки [9]. По този начин те се различават от специализираните приспособления, които след приключване на производството се бракуват.

С годините прилагането на модулни приспособления е довело до значителни технологически и икономически ползи, включително следните 4 аспекта [7]:

1. Използването на модулни приспособления може да намали времето за подготовка с над 80%.
2. Намаляват се производствените разходи, тъй като модулните приспособления се използват многократно.
3. Използването на модулни приспособления помага за осигуряване на качеството на продуктите.
4. Използването на модулни приспособления може да разшири възможностите на производствената екипировка и да подобри производителността.

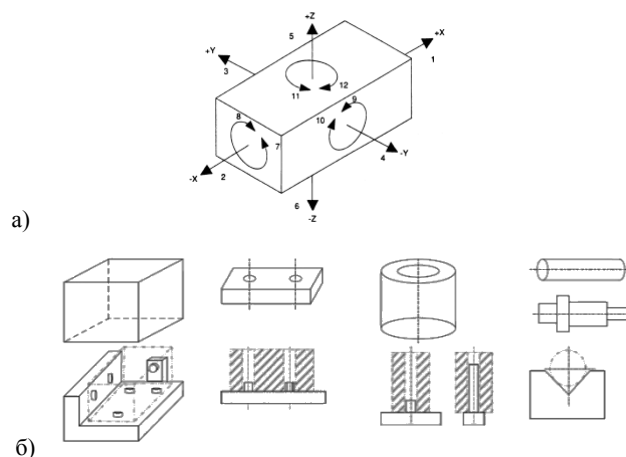
Приспособленията, използвани при машинна обработка, представляват системи от елементи, включващи базова плоча и устройства за базиране и закрепване на детайла/заготовката. На фиг. 1 е представен пример за приспособление, при което детайлът е базиран върху базиращи елементи, определящи точно местоположението му [1]. 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 със и без заготовка [1].

Времето, прекарано в проектиране и производство на приспособленията, е значителна част от времето за производство на крайните продукти [8], а разходите, свързани с конструирането и производството на приспособления, възлизат на 10-20% от общата цена на производствената система [2]. Обикновено процесът на проектиране на приспособления се състои в определянето на положенията на притискачите, базиращите и опорните елементи и правилният им избор.



Фиг.2. а) Степени на свобода на детайл [1] и б) отнемането им [4].

Броят и положението на базиращите елементи трябва да бъдат такива, че на заготовката да ѝ бъдат отнети 6^{-те} степени на свобода по време на обработките (фиг.2а), например чрез базиране по три равнинни повърхнини (метод 3-2-1), една равнинна повърхнина и два отвора (два щифта – цилиндричен и изрязан), една равнинна повърхнина и един отвор (с дълъг щифт) и по цилиндрична повърхнина (с дълги или къси V-блокове) (фиг.2б).

2. Компютърно подпомогнато проектиране на приспособления (CAFD).

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 базирани с готови приспособления, използване на универсални слобемни 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.

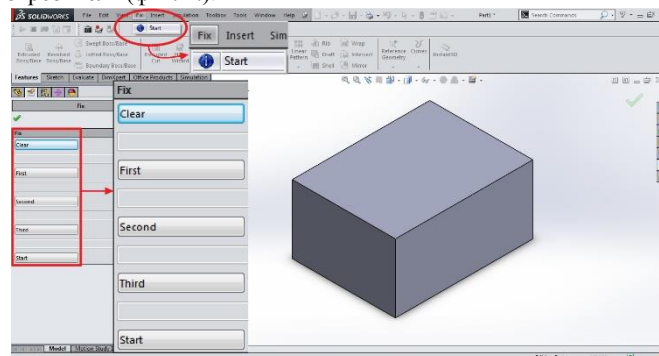
Автоматизацията на проектирането на приспособления чрез използването на CAFD системи е особено важно за конкурентоспособността и влиянието им нараства с подобряването възможностите на CAD/CAM системите и внедряването на методи, използващи изкуствен интелект (AI) [2]. Въпреки че САМ системите покриват много от производствените дейности (напр. генериране на пътя на инструмента), пълната автоматизация на CAFD все още не е постигната. Основното предизвикателство тук е как да се компютризират човешките знания и опит, така че да бъдат използвани от системата. Множество методи се използват за постигането на тази цел, като един от най-често използваните е с помощта на правила тип АКО-ТОГАВА-ИНАЧЕ (IF-THEN-ELSE). При задаване на данни за проблема, чрез серия от въпроси и отговори, основани на тези правила, се генерира решение.

3. Свързани публикации/разработки.

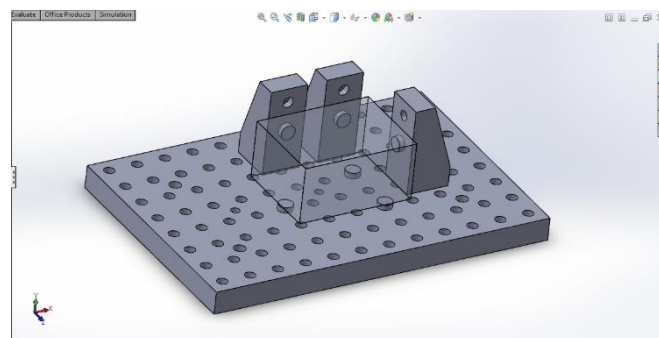
В [10] бе представена базата за модул, интегриран в SolidWorks, за базиране на призматично-корпусни и цилиндрични детайли по методите 3-2-1, базиране по два отвора и равнинна повърхнина и по външна цилиндрична повърхнина. Той е създаден с езика VB.NET с помощта на приложно-програмния интерфейс на SolidWorks и използва правила от типа АКО-ТОГАВА-ИНАЧЕ (IF-THEN-ELSE).

Приложението се стартира от бутон в Toolbar менюто при отворен файл тип „PART“. Входните данни се задават от потребителя чрез избор на повърхнините за базиране и съответния бутон в менюто (фиг.3.). При този избор програмата определя вида на повърхнините и размерите им и изчислява положенията на базиращите елементи. С избора на бутоната „Start“, потребителят приключва избора си, а

приложението извършва финалните изчисления и започва генерирането на приспособлението в нов „ASSEMBLY“ файл, като започва от базовата плоча, поставя нужните елементи на позициите им и завършва с поставяне на детайла. Моделът остава активен за по-нататъшни действия от страна на потребителя (фиг. 4.).



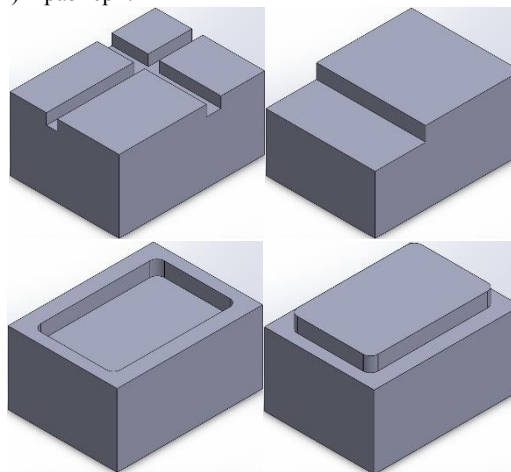
Фиг.3. Детайл със стартирано приложение.



Фиг.4. Сглобено приспособление с детайл.

4. Ново в модула за базиране.

Както бе споменато, при базирането на детайлите е много важно правилното определяне на положението на базиращите елементи. Определянето на точките за базиране по равнинна повърхнина зависи от вида на тази повърхнина – форма (правоъгълник, кръг, многоъгълник и т.н.), цялост (една цяла фигура, наличие на канали и джобове, няколко отделни фигури) и размери.



Фиг.5. Повърхнини, съдържащи различни елементи.

При прости фигури определянето на позициите на базиращите елементи може да бъде лесно, но при повече елементи задачата се усложнява. За да може програмата сама да определи положенията на елементите, тя трябва да придобие точна представа за повърхнината, което става чрез избора ѝ от потребителя. Когато повърхнината, избрана за базиране, се състои от няколко отделни геометрични форми, разделени от

канали и/или други елементи, потребителят трябва да избере всички тях, което отнема време и може да доведе до грешки. За да реши този проблем, в приложението се използват възможностите на SolidWorks и комбинации от правила. При избора на повърхнина от потребителя, програмата определя ориентацията на нормалния ѝ вектор и координатите на крайните ѝ точки, и започва проверка на всички останали повърхнини на детайла. Когато бъде открита друга повърхнина със същата ориентация, се проверява дали тя лежи на същата равнина като избраната. Ако бъде открита повърхнина, отговаряща на изискванията, се определят крайните ѝ точки и се добавят към тези на първоначално избраната повърхнина. Процесът продължава докато не бъдат проверени всички повърхнини на детайла. Пример за използваните правила:

Автоматичен избор на повърхнина. Взимане на данни за нормалния ѝ вектор.

АКО този вектор съвпада с вектора на избраната от потребителя повърхнина ТОГАВА;

АКО повърхнината лежи на една равнина с избраната от потребителя повърхнина ТОГАВА;

Събиране на координатите на крайните ѝ точки.

ИНАЧЕ

Автоматично избиране на следваща повърхнина;

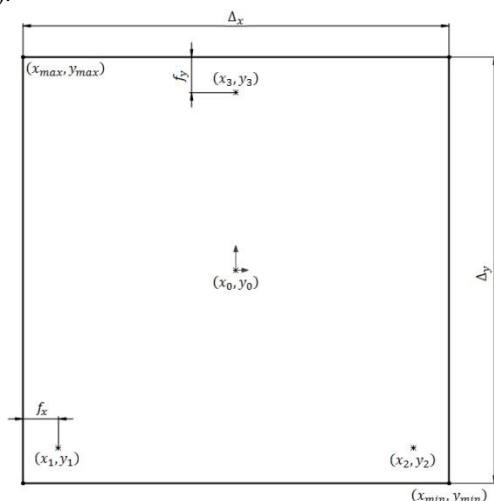
ИНАЧЕ

Автоматично избиране на следваща повърхнина.

Тези и други правила са включени в цикъл, който се изпълнява докато не бъдат проверени всички повърхнини на детайла. След тези проверки се създава нова скица (Sketch) върху избраната повърхнина. Координатите, събрани от всички повърхнини, се трансформират към локалната координатна система на равнината, в която лежат повърхнините, и се определят размерите на базиращата повърхнина като цяло. От всички точки се определят най-голямата и най-малката стойност за всяка ос – $x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min}$. Спрямо тези стойности се определя център:

$$(1) \quad x_0 = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \quad y_0 = \frac{y_{max} + y_{min}}{2}.$$

Спрямо този център ще се разполагат точките за базиране (фиг.6).



Фиг.6. Примерна повърхнина.

Определят се разликите между най-голямата и най-малката стойност за всяка координата и коефициентите k :

$$(2) \quad \Delta_x = x_{max} - x_{min}, \quad \Delta_y = y_{max} - y_{min}$$

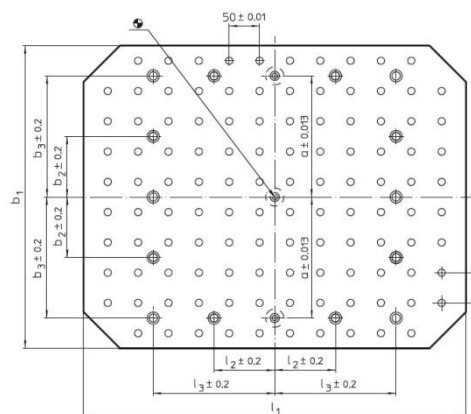
$$(3) \quad k_x = \downarrow \left[\frac{\Delta_x}{0,050} \right], \quad k_y = \downarrow \left[\frac{\Delta_y}{0,050} \right].$$

Коефициентите k представляват кратността на разстоянието Δ спрямо стъпката между отворите в базовата плоча (50мм) и се

закръгляват до цяло, по-малко число¹. С този коефициент се изчисляват координатите на базиращите палци, а с закръгляването надолу се гарантира, че центърът на палеца винаги ще е в границите на крайните точки. Уравненията за координатите на трите точки са:

$$(4) \quad \begin{aligned} u_1 &= u_2 = u_0 - k_u * 0,025; \\ u_3 &= u_0 + k_u * 0,025; \\ v_1 &= v_0 - k_v * 0,025; \\ v_2 &= v_0 + k_v * 0,025; \\ v_3 &= v_1 + \left\{ \downarrow \left[\frac{0,5 * (v_2 - v_1)}{0,050} \right] \right\} * 0,050. \end{aligned}$$

Стойностите за u_0, k_u, v_0 и k_v се взимат от (2) и (3) в зависимост коя стойност на Δ е по-голяма – при $\Delta_x \geq \Delta_y \rightarrow u = y, v = x$, при $\Delta_x < \Delta_y \rightarrow u = x, v = y$. По същата зависимост се прехвърлят крайните стойности за x_1, x_2, x_3, y_1, y_2 и y_3 . Коефициентите k се умножават по половината стъпка между отворите в базовата плоча (25мм), за да се осигури симетрия спрямо центъра (x_0, y_0) , имитираща тази на избраната базова плоча.



Фиг.7. Базова плоча. [5].

Уравненията са изведени в съответствие с модела базова плоча на фиг.7 така, че центърът (x_0, y_0) на избраната повърхнина /комбинация от повърхнини да съвпада с центъра на плочата (при четни k_x и k_y) или да бъде отместена на 25мм по едната или двете оси. При параметризирането на уравнения (4) се приема, че точките (x_1, y_1) и (x_2, y_2) лежат успоредно на оста с по-голяма стойност на Δ , т.е. ако повърхнината е правоъгълник тези точки лежат на еднакво разстояние от ръба с по-голяма дължина. Закръгляването надолу във формулата за v_3 е необходимо, тъй като при нечетна стойност на коефициента k_v , координатата v_3 (без закръгление) попада между отворите на базовата плоча.

По така изчислените координати се създават точки в скицата, тя се затваря и започват проверки дали тези точки лежат върху избраната повърхнина или на някоя от другите съвпадащи повърхнини (ако има такива). С тези проверки се избягва поставянето на базиращи палци в канали или извън очертанията на детайла. Ако една или повече точки не лежи на някоя от проверяваните повърхнини (фиг.8а) започва нанасянето на различни корекции до получаване на пълно съответствие. Корекциите са от различен характер:

- огледално разместване на точките спрямо едната ос (фиг.8б);

- едно- или много-кратно преместване на точките (вкл. т. (x_0, y_0)) спрямо едната или двете ос/и на стъпка, равна на част (например 1/4) от свободното пространство от (2) и (3) (фиг.8в):

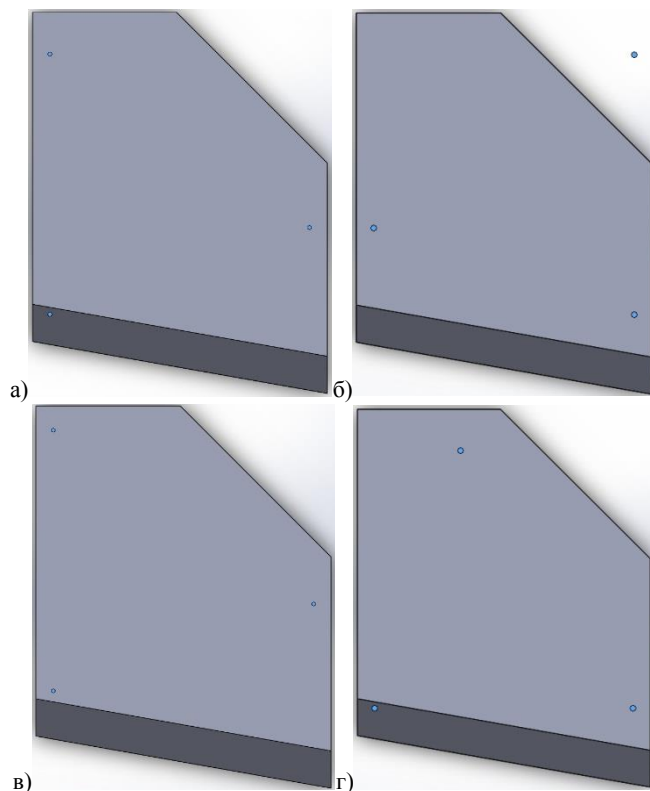
$$f = \frac{\Delta - k * 0,050}{2};$$

¹ Операторът $\downarrow []$ да се чете като „закръгляване към цяло, по-малко число“.

- преизчисляване на координатите с коефициент $k - 1$ с повтаряне до $k = 1$;

- размяна на коефициентите u и v (фиг.8г).

Корекциите могат да се комбинират по различен начин, така че след една корекция да се изпълняват останалите. Например: след преизчисляване на координатите с $k - 1$ се извършва многократно корекция със стъпково преместване до изчерпване на свободното пространство f . След това се извършва преизчисляване с $k - 2$ и отново стъпково преместване до изчерпване на свободното пространство f . Разбира се всяка следваща корекция се извършва при условие, че поне една точка не лежи на избраната повърхнина.



Фиг.8. Точките за базиране – а) изчислени координати; б), в), г) след корекции.

Ако всички проверки покажат поне една точка, нележаща на повърхнина, за сега програмата не предлага алтернатива и уведомява потребителя, че избраната повърхнина не е подходяща.

Същите проверки и корекции се извършват и при избор на повърхнина с наличието на отвори, джобове, острови и др. Дали има подобни елементи се определя от програмата без нужда от допълнителни действия от страна на потребителя.

Отново същите проверки и корекции се използват при базиране по стъпаловидни повърхнини (успоредни повърхнини с еднакви нормални вектори, но не лежащи в една равнина), но със създаването на повече от една скица. Избора на такива повърхнини е необходимо да се направи ръчно от потребителя, за да се избегне поставянето на базиращи елементи в глухи отвори и джобове, перпендикулярни на избраната повърхнина.

За базирането по равнини, лежащи в една равнина, или равнини с джобове се използват постоянни базиращи опори, а при стъпаловидни повърхнини – комбинация от постоянни и регулиращи се базиращи опори.

5. Изводи.

В работата е предложена методика за автоматизиран избор на точки за базиране при схемата 3-2-1. Тя позволява по-точно,

по-бързо и напълно автоматизирано определяне на позициите на базиращите палци. Това е постигнато с комбинирането на математически уравнения с правила If-Then-Else и функции, предлагани от софтуера на SolidWorks. Същият принцип на работа е приложим при избора на втора и трета базиращи повърхнини. Методиката е включена към модула за автоматизиране на процеса за базиране на призматични и цилиндрични детайли в средата на SolidWorks. Той позволява базиране по повърхнини с различни форми и включващи различни елементи (каналы, джобове, стъпала) и е част от система за автоматизирано проектиране на модулни приспособления, която е в процес на разработване.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] 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.
- [2] Farhan U. H. An Integrated Computer-Aided Modular Fixture Design System for Machining Semi-Circular Parts. 2013.
- [3] Hoffman, E. G. "Jig and Fixture Design", 3rd Ed., Delmar, New York, 1991.
- [4] 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.
- [5] Product catalogue for Workholding Systems and Standard Parts, Erwin Halder KG, Germany.
- [6] Rong, Y., J. Ni, S. M. Wu, "An Improved Model Structure for Forecasting Compensatory Control of Machine Tool Errors", *Sensors and Control for Manufacturing*, ASME PED Vol. 33, pp. 175-181, 1988.
- [7] Rong, Y., Y. Zhu, "Computer-Aided Fixture Design", CRC Press, 1999.
- [8] 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.
- [9] Zhu Y., S. Zang, "Modular Fixturing Systems: Theory and Application", Machinery Press, Beijing.
- [10] Николчева Г., О. Михайлов, „Приложение за базиране на детайли, интегрирано в SolidWorks“, *Scientific Proceedings Of the Scientific-Technical Union Of Mechanical Engineering*, Vol.3, XII International Congress "Machines, Technologies, Materials 2015", Varna, Bulgaria, pp. 15-18, 2015.