

CÉLGÉPTERVEZÉS MÓDSZERTANA

DESIGN METHODOLOGY OF SINGLE-PURPOSE MACHINES

Simon Gábor*, Rónai László**

ABSTRACT

Nowadays the increase of the productivity at industries are a main objective. This paper deals with the design methodology of single purpose machines. The steps of the design process are detailed through an exact problem, which is the machining of a pneumatic distributor block. After performing the necessary calculations, the elements of the single purpose machine are selected in the design phase. The 3D model of the machine is made in Autodesk Inventor Professional software.

1. BEVEZETÉS

Az iparban a termelékenység, automatizáltság fokozása mára már egy megszokott stratégiává vált. Abban az esetben, hogyha egy adott gyártósoron több éven keresztül tömegtermelés folyik, valamint az állási időt minimalizálni szükséges, akkor célszerű megvizsgálni egy célgép termelésbe történő integrálásának a lehetőségeit. Célgépek alatt olyan berendezést értünk, melyek egy adott termék rendkívül kis ciklusidővel történő gyártását teszik lehetővé. Fő előnyük a ciklusidőben rejlik. Egy CNC maró- vagy esztergagéppel szemben rugalmasságuk, azaz más termékre történő átállásuk igen korlátozott vagy nagyobb beavatkozás nélkül egyáltalán nem is kivitelezhető.

Az [1] forrás egy lyukasztó célgép tervezésével foglalkozik, mely hidro-pneumatikus munkahengereket használ a lyukasztáshoz szükséges erők előállításához. Marási folyamatokhoz is készíthető célgép, erre jó példa a [2], amelyben homlokmarást megvalósító egységet terveztek, ezzel csökkentve a ciklusidőt. A célgép vezérlését PLC-vel oldották meg.

Jelen cikk be kívánja mutatni a célgéptervezés módszertanát egy konkrét gyakorlati példán keresztül. A célgépek fejlesztésének céljai igen változatosak is lehetnek, nemcsak fűrási-, marási folyamatokra lehetnek alkalmasak, hanem akár tekercselésre is. Az utóbbira a [3] mutat jó példát, amely egy nagyméretű tekercsek előállítására alkalmas célgépet mutat be.

A cikk 2. fejezete röviden ismerteti a gyakorlatban alkalmazott műszaki értékelemző módszereket,

melyek segítségével a megfelelő célgépi struktúra kiválasztása tehető meg. A 3. fejezetben bemutatásra kerül egy olyan alkatrész, melynek gyártásához célgép tervezése szükséges. A 4. fejezet tárgyalja a szükséges számításokat a megmunkálások időszükségletének- és az egyes paraméterek meghatározásának érdekében. Az 5. fejezet foglalkozik a szerszámok térbeli elrendezésével. A célgép 3D-s modelljét a 6. fejezet ismerteti. Az összefoglalás tartalmazza az elért eredményeket és a jövőbeni terveket.

2. MŰSZAKI ÉRTÉKELEMZŐ MÓDSZEREK

Jelen fejezet röviden be kívánja mutatni azon értékelemző módszereket, melyek egy adott tervezési folyamatnál nagy segítséget nyújthatnak. A gyártóeszközök módszeres tervezéséhez felhasznált műszaki értékelemző módszer fő célja, hogy a megoldásváltozatok közül a tervező a legmegfelelőbb, kidolgozásra alkalmas megoldást megtalálja [4].

A leggyakrabban az ún. Többség- vagy a Rang- vagy a Dátum módszerekkel lehet találkozni.

A többség módszernél minden változatot, minden változattal páronként össze kell hasonlítani páronként. Az a megoldásváltozat lesz a legkedvezőbb, amely a legtöbbször került ki győztesen. A változatpárok meghatározására az alábbi összefüggés nyújt segítséget:

$$x = \frac{i(i-1)}{2}, \quad (1)$$

ahol i jelenti a változatok számát.

A Dátum módszer esetében is páronként történik az összehasonlítás, de itt egy kiválasztott megoldásváltozattal lesz a többi változat összemérve. Gyorsabb a kiértékelési idő, mivel kevesebb összehasonlítást kell elvégezni.

A Rang módszernél az összes megoldásváltozatnál egyenként meg kell határozni a szempontok szerinti pontokat pl. 6 változat van, adott szempontnál 1-6 közötti pont adható. A kisebb pont jobb helyezést fog jelenteni. Ezen pontokat minden változatnál

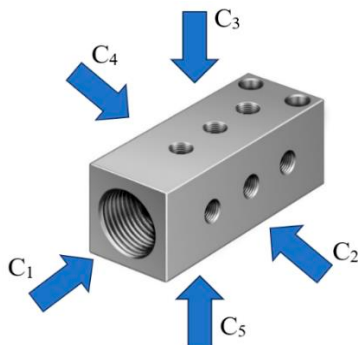
* mesteroktató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** PhD, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

külön-külön össze kell adni, és a legkisebb összeget elért változat lesz a legjobb. Természetesen még léteznek más módszerek is, a teljesség igénye nélkül pl. Copeland módszer, Lexikográfiai szabály, értékprofil stb.

3. ALKATRÉSZ BEMUTATÁSA

Egy pneumatikus, 9 darab csatlakozót tartalmazó elosztó tömbhöz [5] történik a célgép tervezése. Az egység előgyártmánya egy húzott AlSi hasáb, melynek méretei: 15x15x34 mm.



1. ábra Az elosztó egység a támadási irányok feltüntetésével

Az 1. ábrán látható módon az alkatrészt összesen 5 darab támadási irányból szükséges megmunkálni. A kész termék elérése érdekében telibefúrás, menetfúrás, élettörés, dörzsárazás szükséges. Megjegyezzük, hogy a C₅ jelű irányból csak két darab 0,2x45° élettörést kell elkészíteni. A C₁ irányból egy 26 mm mélységű Ø8,7 mm zsákfuratot kell létrehozni, amelybe G1/8" méretű menetet szükséges kialakítani a pneumatikus csatlakozónak (port 1). A C₂ és C₄ irányokból 3-3 M3 menetes furat készül Ø2,5 mm magátmérővel, valamint 0,2x45° élettörésekkel. A C₃ irányból pedig további 3 M3 elosztó furat kialakítása szükséges az élettörésekkel (port 2). Továbbá a C₃ támadási irányból szükséges még két rögzítőfurat elkészítése is, itt Ø2,9 mm átmenő furatok kialakítása történik meg, majd dörzsárazással és élettörésekkel záródik az ebből az irányból történő megmunkálások.

Az elvégzendő műveletek ismeretében felületkomplexumokat kell kialakítani, majd szükséges megvizsgálni az egyes komplexumokon belüli- és a komplexumok közötti párhuzamosítások lehetőségeit. Továbbá nem szabad figyelmen kívül hagyni a komplexumok közötti kötelező sorosodásokat, erre egy jó példa, hogy a magfurat kialakítása megelőzi a menetfúrást.

A többpozíciós célgép tervezésénél a következő időbeli kiosztás lesz alapul véve, amelynél a || szimbólum jelöli a párhuzamosan végzett

folyamatokat, míg → a tervezett célgépi pozíciókat választja el.

A műveletek: C₁ irányból a zsákfurat és élettörés kialakítása || C₃ irányból 2x Ø2,9 mm telibefúrás és élettörés → Egyszerre C₂, C₃, és C₄ irányokból 3x telibefúrás és élettörés → C₁ irányból a G1/8" menet kialakítása || C₅ irányból 2x élettörés → Egyszerre C₂, C₃, és C₄ irányokból 3x menetfúrás → C₃ irányból 2x dörzsárazás.

4. VONATKOZÓ SZÁMÍTÁSOK

Jelen fejezet foglalkozik azon szükséges számítások rövid bemutatásával, melyek a példában szereplő alkatrészhez szükséges célgép tervezésénél mindenképp elvégzendők.

4.1. A megmunkálással kapcsolatos paraméterek

Minden megmunkáláshoz meg kell határozni számos mennyiséget, paramétert. A forgácsoló sebesség ismeretében a főorsó fordulatszáma meghatározható

$$n = \frac{v_c}{\pi d'} \quad (2)$$

ahol d a furatátmérő. A forgácsolási teljesítmény számítható a főforgácsoló erő és a forgácsolási sebesség ismeretében:

$$P_c = F_c v_c. \quad (3)$$

A főforgácsoló erő a munkadarab és a szerszám alapján számítható az ún. Kienzle-Victor [6] féle összefüggéssel:

$$F_c = k_c A = k_{c1.1} h^{-z} A, \quad (4)$$

ahol A jelenti a forgácskeresztmetszetet, míg $k_{c1.1}$ a fajlagos főforgácsoló erő főértékét, h a forgácsvastagságot, és z a fajlagos főforgácsoló erőváltozást mutató tényezőt. A fajlagos főforgácsoló erő k_c .

Szokásos a bővített, fajlagos főforgácsoló erő képletével számolni, mely mértékegység nélküli módosító tényezőket alkalmaz, amely pl. a homlokszög, forgácsolósebességre, szerszámkopásra.

Az 1. ábrán szemléltetett munkadarab vonatkozásában a C₁ támadási irányból történő zsákfurat megmunkálásához fog a legnagyobb forgácsolási teljesítmény tartozni.

A számítástechnika nagyfokú fejlődésének köszönhetően már rendelkezésre állnak interneten elérhető kalkulátorok. Egy ilyen a Walter Tools GPS [Walter] online felület, mellyel az egyes megmunkálásokhoz tartozó paraméterek, úgy,

mint a forgácsolási sebesség, főorsó fordulatszáma, előtolás mértéke, forgácsolási teljesítmény stb. meghatározhatók, számíthatók a választott szerszám függvényében.

4.2. A megmunkálási műveletek időszükséglete

A megmunkálási műveletek függvényében az alábbi összefüggések alkalmazhatók:

$$t_{f/l} = \frac{s}{v_f} + \frac{s + 2s_r}{v_{gy}}, \quad (5)$$

$$t_m = \frac{2s}{v_f} + \frac{2s_r}{v_{gy}}, \quad (6)$$

ahol $t_{f/l}$ jelenti a fúrás vagy élettörés-, míg t_m a menetfúrás időszükségletét. A v_f és v_{gy} rendre a percnkénti előtolásokat adják meg munkamenetben és gyorsmenetben. A munkamenetben megtett utat s , a ráfutási utat s_r jelöli.

Az (5) és (6) képletekkel az egyes felületek megmunkálási időszükségletei számíthatók, amelyekből becsülhető a tervezendő célgép termelékenysége. A példaként bemutatott darab esetében a készre munkáláshoz szükséges idő közel 90 másodpercre adódott, napi 8 órás műszakot alapul véve, továbbá 250 munkanappal számolva. Így 1 évre 80750 db pneumatikus elosztó gyártható. Ennél a számításnál a megmunkálások egymás után következtek párhuzamosítások nélkül. Mivel a 3. fejezetben a tervezett célgép esetében a műveleteknél lesznek párhuzamosítások, így nagyobb lesz a gép termelékenysége.

5. SZERSZÁMOK TÉRBELI ELRENDEZÉSE

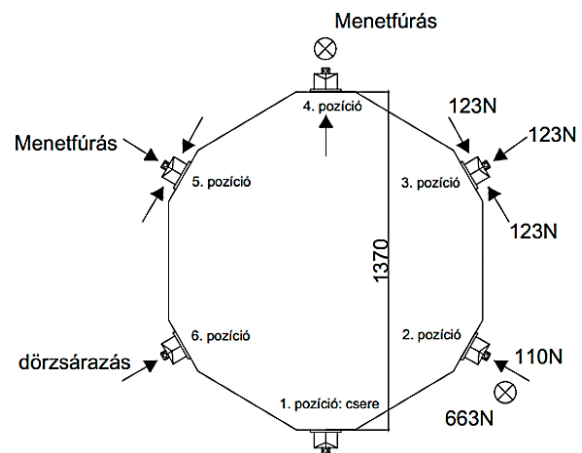
A szerszámok összevonásának 3 szintjét lehet megkülönböztetni első-, másod- és harmadfokú térbeli összevonások [4].

Az elsőfokú összevonás lényege, hogy az azonos támadási irányokból történő megmunkálásokra felhasznált szerszámok egy forgástengelyen legyenek, erre példa a fúró és egyben élettörő szerszám alkalmazása. A másodfokú térbeli összevonás során támadási irányonként egy-egy közös előtoló egység kialakítása a cél, ehhez többorsós előtétet szükséges alkalmazni. Vannak homogén- és vegyes technológiájú orsóelőtétetek a piacon. Az utolsó, azaz a harmadfokú térbeli összevonásnál a szerszámok, szerszámcsoportok munkadarab köré történő megfelelő elhelyezése a fő cél, amelyek majd az egyes célgépi pozíciókat fogják eredményezni. A célgép készülékezése sztenderd, piacon elérhető termékek felhasználásával történik. A

SUHNER GmbH [7] cég kínálatában több olyan egység – köztük többsorsós előtét – is szerepel, mely a tervezéshez, kivitelezéshez felhasználható.

6. CÉLGÉP MODELLJE

Többpozíciós célgépeknél a pozíciók összekötésének többféle módja ismeretes, ezek lehetnek léptetett hosszasztalos-, lineáris sor-, körasztalos- vagy dobos megoldások. Mérlegelve a termelékenységet, illetve a támadási irányokat a példában szereplő munkadarab célgéppel történő gyártáshoz egy 6 pozícióval rendelkező dobos struktúra lesz felhasználva (lásd: 2. ábra). Az előtoló erők meghatározása a Walter Tools GPS 6.7.2 online program felhasználásával történt.



2. ábra A megmunkálások során ébredő előtoló erők

A cserepozícióban megmunkálás nem történik, ott a munkadarab rögzítése valósul meg egy pneumatikus satu segítségével, amely a C_1 támadási irányból fog szorítóerőt kifejteni. A satu méretezésénél meg kell vizsgálni, melyik lesz az a legnagyobb erő, amely a munkadarabot ki akarja mozdítani a pofákból, a példafeladatban ezen erők a 3. ábrán mutatott irányokból fognak hatni. A C_1 irányból az előtoló erő 663 N-ra adódik. Míg a C_5 támadási irányból a két élettörés során $F=123$ N erő ébred, mely segítségével a megmunkáláskori minimális szorítóerő nagysága meghatározható:

$$F_{sz} = \frac{F}{\mu}, \quad (7)$$

ahol $\mu=0,44$ a satu acél pofája és az alumínium munkadarab közötti súrlódási tényező. Ezen adatok ismeretében a szorítóerőnek nagyobbnak kell lennie, mint az első támadási irányból adódó előtoló erő.

A dobos struktúrához kiválasztandó körasztalhoz ismerni szükséges a billenő- és tangenciális nyomatékok nagyságát, továbbá az asztalra merőleges erők nagyságát.

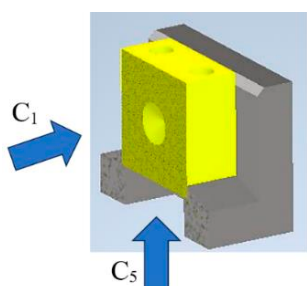
A dob, és az alkalmazott alkatrészek együttes súlyerői a tervezőprogram által számíthatók, ez összesen 4 kN értékű.

A billenő nyomaték az alábbi képlettel határozható meg összhangban a 2. ábrával:

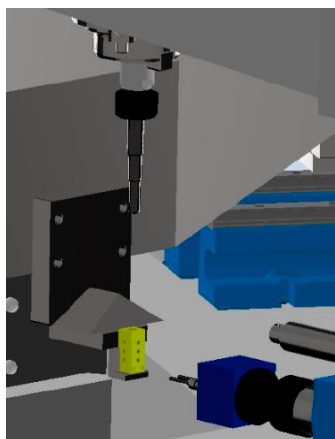
$$M_b = \frac{1,37}{2} 663 \cong 445 Nm. \quad (8)$$

A tangenciális nyomaték elenyésző értékű lesz, így az a jelen példánál nem lesz mérvadó. A kapott eredmények alapján egy SUHNER RT 320 A6 körasztal alkalmas lesz a dobos struktúra működtetésére.

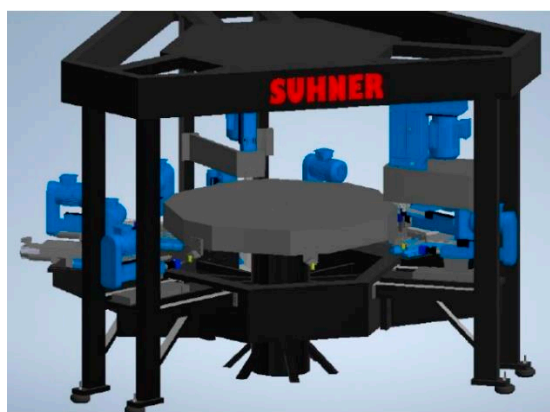
A célgép modellje az Autodesk Inventor Professional 2023 szoftverben készült, melyet a 4. és az 5. ábrák érzékeltetnek.



3. ábra A satu méretezésénél figyelembe veendő támadási irányok



4. ábra A port 1 G1/8" zsákfuratának és a két rögzítőfurat előfűrése



5. ábra Az elkészült célgép 3D-s modellje

Az időciklogram alapján a végleges termelékenységre – köszönhetően a pozíciók teljes feltöltöttsége miatt – több, mint évi 700000 darab adódott.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A termelékenység fokozása érdekében az iparban egyre több helyen alkalmaznak célgépeket. Ebben a cikkben tömören összefoglalásra került a célgéptervezés módszertana. A főbb lépések bemutatása érdekében egy pneumatikus elosztó tömb furatainak elkészítéséhez egy egyedi célgép tervezése történt meg.

A jövőben megvizsgálásra kerül, hogy a célgéptervezés folyamata miként gyorsítható számítógéppel segítve.

8. IRODALOM

- [1] Sathishkumar S., Swaminathan R., Mithun Sena S., Dinakaran P.T.: *Design and Development of Special Purpose Machine Using Hydropneumatic Cylinders to do 4 Holes and 2 Holes Piercing in a Square Tube*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 8(3), pp. 209–218, (2017)
- [2] Salunkhe S. S., Ugale A. S.: *Design and Development of PLC Operated Special Purpose Machine for Face Milling Operation on Connecting Rod*, International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 08, Issue 06, (June 2019)
- [3] Patel M., Pradhan S.: *Special Purpose Winding Machine for Fusion Relevant Magnets in India*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 22, no. 3, pp. 4202404–4202404, doi: 10.1109/TASC.2011.2180500., (June 2012)
- [4] Takács Gy., Zsiga Z., Szabóné Makó I., Hegedüs Gy.: *Gyártóeszközök módszeres tervezése*, Nemzeti tankönyvkiadó, (2009)
- [5] FESTO AG & Co: *Distributor block FR-9-M3-B*, adatlap, (2023)
- [6] Szemjkal A., Ozsváth P.: *Járműszerkezeti anyagok és technológiák II.*, Typotex Kiadó, (2011)
- [7] SUHNER GmbH weboldala: <https://www.suhner.com>