

PÁRHUZAMOS KINEMATIKÁJÚ BILLENŐASZTAL ELEMZÉSE

Tüske István

*PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: istvantuske@googlemail.com*

Hegedűs György

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: hegedus.gyorgy@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

A korszerű öttengelyes marógépeket vizsgálva megállapítható, hogy a struktúra változatok különböző felépítésű gépeket eredményeznek. Az adott változatokat elsősorban a gépen megmunkálható munkadarabok méretei és gép kinematikai felépítése határozzák meg. A gép kinematikai lánc alapján megkülönböztethetők a soros kinematikai, párhuzamos kinematikai és a hibrid kinematikai láncú változatok. A szimultán öttengelyes megmunkáláskor a szerszám és a munkadarab egymáshoz képest lineáris és orientációs mozgásokat végez egyidejűleg. Jelen cikkben egy párhuzamos kinematikai láncú billenőasztal változatának elemzését mutatjuk be.

Kulcsszavak: szerszámgépek, párhuzamos kinematika, mobilitási kritérium

Abstract

Examining modern five-axis milling machines, it can be concluded that the structural variants lead to machines with different constructions. The variants are mainly determined by the dimensions of the workpieces that can be manufactured on the machine and the kinematic structure of the machine. Based on the kinematic chain of the machine, a distinction can be made between serial kinematic, parallel kinematic and hybrid kinematic chain variants. On simultaneous five-axis machining, the tool and the workpiece perform linear and orientational movements relative to each other simultaneously. In this paper an analysis of variant of a tilting table with parallel kinematics is presented.

Keywords: machine tools, parallel kinematics, mobility criteria

1. Bevezetés

A klasszikus forgácsolási alapelvek szerint a marási technológiára jellemző, hogy a forgácsoló forgó főmozgást a szerszám, a mellékmozgásokat a munkadarab végzi. Ez az elv a hagyományos 2D-2,5D marási műveleteknél még megfigyelhető, azonban a 3D-5D-s megmunkálásoknál a lineáris (X , Y , Z) és orientációs (A , B) mozgásokat megosztják a szerszám és munkadarab között. A „*mozgasd a kisebb tömeget*”-elv figyelembe vételével a mozgásmegosztást célszerű olyan módon alkalmazni, hogy megmunkálás során a nagysebességű mozgásokat a jellemzően kisebb tömegű szerszám, az alacsony sebességű mozgást (pl. orientáció) a jellemzően nagyobb tömegű munkadarab végezze. A jelenleg elterjedt marógép struktúráváltozatokat vizsgálva többféle mozgásmegosztás terjedt el, amit befolyásol a gép kinematikai láncának felépítése, valamint az azon megmunkálható munkadarabok sokfélesége, tömege, méretei. A munkadarab mozgását megvalósító kinematikai lánc alapvetően kétféle típusba

sorolható: soros kinematikai lánc és párhuzamos kinematikai lánc. A teljes gép felépítését tekintve azonban meg kell említenünk a hibrid kinematikai láncú gépstruktúra változatot is [1], [2], [11].

1.1. Soros kinematikai láncú gépstruktúra

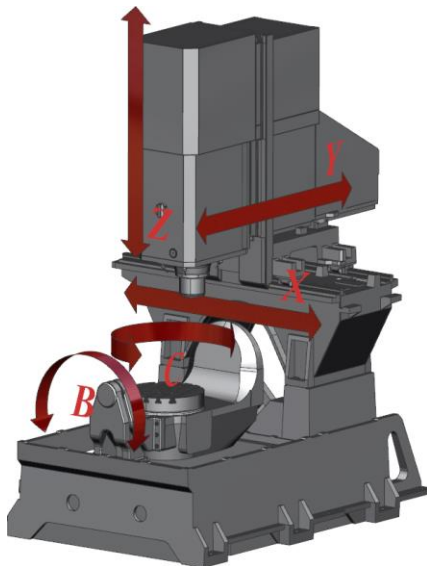
A soros kinematikai láncú struktúrára jellemző a nyílt kinematikai mechanizmus. A mozgásmegosztásra több változat terjedt el, mint például a $TTT-RR$, és a $TTR-TR$ (ahol T a lineáris, R a forgó mozgásra utal). Az adott tengelyek mentén történő lineáris elmozdulások, valamint a tengelyek körüli elfordulások lehetséges változatainak számát kombinatorikai számításokkal határozhatjuk meg. A korábban említett mozgásmegosztást, valamint a tengelyekre jellemző paramétereket figyelembe véve az előállítható változatok számát egy permutáció és egy ismétlés nélküli variáció szerint határozhatjuk meg. A $TTT-RR$ mozgásmegosztásnál a lehetséges változatok száma a

$$V = n_T! \frac{n_R!}{\underbrace{(n_R - k_R)!}_{RR}} = 3! \frac{3!}{(3-2)!} = 36 \quad (1)$$

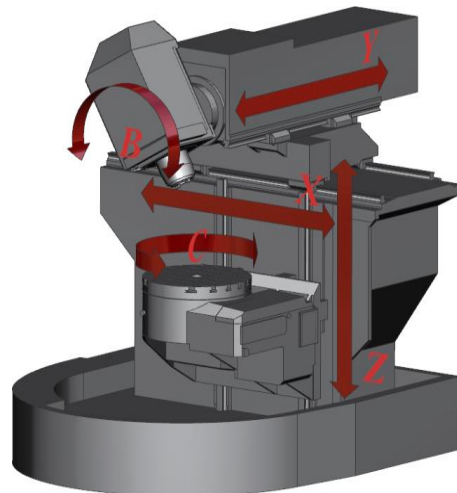
összefüggéssel határozható meg, ahol n_T a lineáris tengelyek, n_R a forgástengelyek számát, k_R a kiválasztott forgástengelyek részhalmazának rendjét jelöli. Hasonlóan számítható a lehetséges változatok száma a $TTR-TR$ mozgásmegosztásnál, így

$$V = \frac{n_T!}{\underbrace{(n_T - k_T)!}_{TTR}} \frac{n_R!}{\underbrace{(n_R - k_R)!}_{TR}} = \frac{3!}{(3-2)!} \frac{3!}{(3-1)!} \frac{1!}{(1-1)!} \frac{2!}{(2-1)!} = 36 \quad (2)$$

adódik. Látható, hogy a képezhető változatok száma változatlan, azonban a szerszám gép változat morfológiailag egy eltérő felépítést eredményez.



1. ábra. Haas UMC500 marógép modellje.

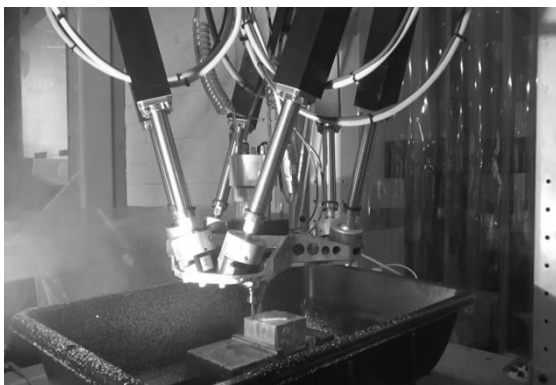


2. ábra. DMG DMU40 marógép modellje.

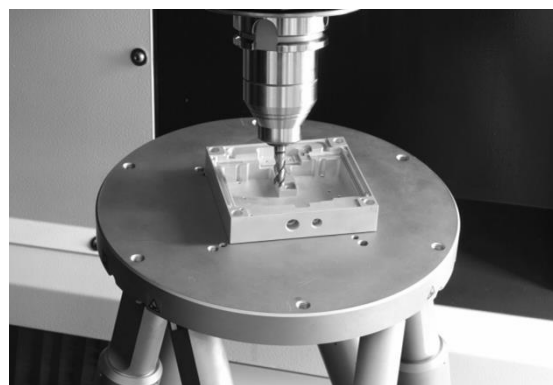
A *TTT-RR* egy változatát mutatja az *1. ábra*, míg a *TTR-TR* egy lehetséges változatát a *2. ábra* szemlélteti. A gyakorlatban ilyen sokféle marógép változattal nem találkozunk, ennek okai lehetnek az adott változatra jellemző korlátok (pl. munkatér, üzemeltetés).

1.2. Párhuzamos kinematikai láncú gépstruktúra

A párhuzamos kinematikai láncú mechanizmusokra jellemző a zárt kinematikai lánc. További jellemzőjük a nagy sebesség és gyorsulás, hátrányuk a soros kinematikai láncú szerszámgépekkel összehasonlítva a kinematikai lánc kisebb merevsége, valamint a hasznos munkatér mérete [6]. Emiatt a párhuzamos kinematikájú mechanizmusokkal gyakran az ipari robotoknál találkozunk [3], [8]-[10].



3. ábra. Főorsó (szerszám) mozgás PKM [4].



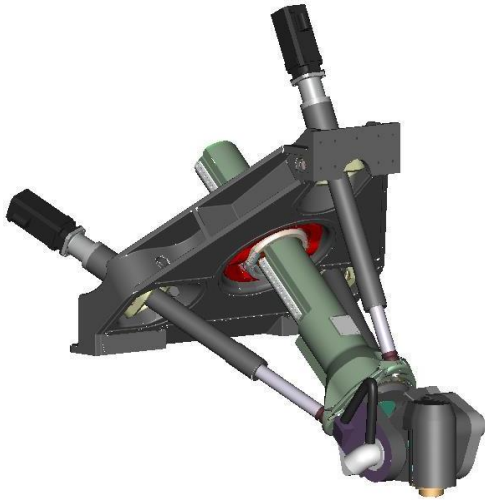
4. ábra. Munkadarab mozgás (hexapod) [5].

A párhuzamos kinematikai láncú szerszámgépek körében is többféle megoldás terjedt el a munkadarab-szerszám mozgását figyelembe véve. A dinamikus mozgások következtében meghatározó a mozgatandó elem tömege, így nagy tömegű munkadarabnál a kisebb tömegű szerszámot mozgatják (*3. ábra*), ellenkező esetben célszerű a megmunkálandó elemet mozgatni (*4. ábra*). Párhuzamos kinematikájú gépeknél is megfigyelhető a mozgásmegosztás a hasznos munkatér növelése érdekében, azonban ezek a típusok a mozgásvezérlés bonyolultsága miatt nem terjedtek el.

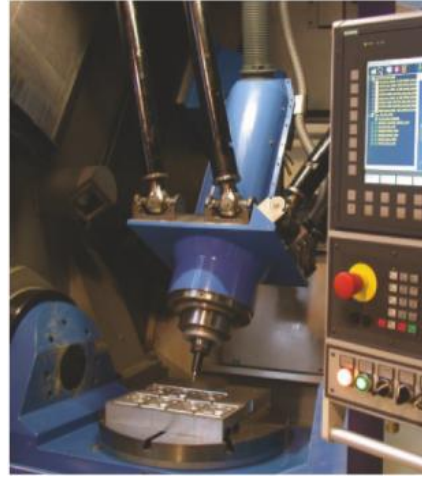
1.3. Hibrid kinematikai láncú szerszámgépek

A hibrid kinematikai láncú szerszámgép egy párhuzamos és egy soros kinematikai láncsal rendelkező szerszámgéptípust jelent. Morfológiailag a leggyakrabban alkalmazott megoldás a párhuzamos kinematikai láncsal mozgatott platformra rögzített forgó-billenő fej (*5. ábra*).

Előfordulhat a párhuzamos és a soros kinematikai lánc szétválasztása, a főorsó-szerszám mozgását a párhuzamos kinematikai lánc valósítja meg, a munkadarab orientációját egy soros kinematikájú billenő-forgó asztal (*6. ábra*).



5. ábra. DTM100 hibrid megmunkálógép [6].

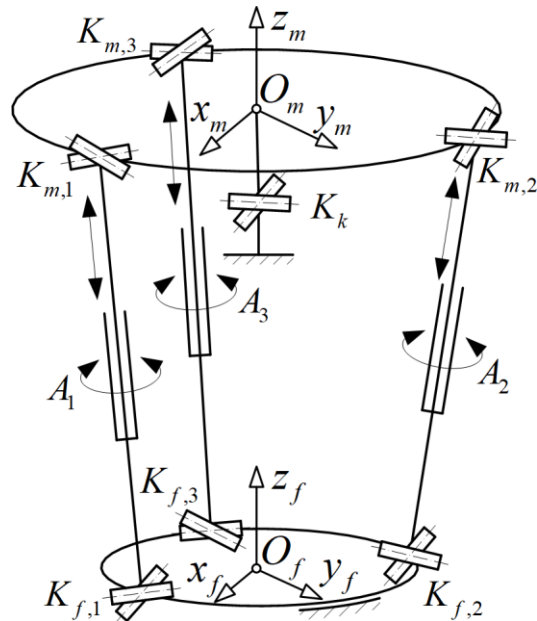


6. ábra. Fatronik VERNE megmunkálógép [7].

2. Párhuzamos kinematikai láncú billenőasztal

Az előző alfejezetekben láthattuk, hogy a szerszámgépek a kinematikai láncok alapján sokféle morfológiával rendelkeznek. Szimultán 5D-s megmunkálási műveletek a gyakorlatban sok esetben előfordulnak, ezekre a feladatokra a soros kinematikájú gépek a legelterjedtebbek, köszönhetően a munkadarabok változatos megjelenésének. A párhuzamos kinematikai láncú mechanizmusok elterjedése megfigyelhető manipulátoroknál is, melyek a szerszám vagy munkadarab nem forgácsoló mellékmozgásait valósítják meg. Bizonyos munkadaraboknál az orientációs mozgások csak szűk tartományban változnak (pl. öntőszerszámok oldalferdesége), ekkor a párhuzamos kinematikai láncú rendszerrel rendelkező egység munkatér korlátjaitól eltekinthetünk. Nagyobb tömegű munkadaraboknál, ahol nagy forgácsleválasztás és forgácsolási teljesítmény szükséges, a mozgás a kisebb tömeget elv is megvalósulhat a mozgásmegosztáskor figyelembe véve a mozgató egységek teljes tömegeit. Egy ilyen szerszám gép konstrukciót feltételezve a hibrid kinematikai láncú szerszám gépnél létezik egy $TTT-RR$ változata, ahol a szerszám forgácsoló főmozgását és annak mellékmozgásait a soros TTT kinematikai lánc, míg a munkadarab orientációs mellékmozgásait az RR párhuzamos kinematikai lánc végzi. Az ilyen kinematikai láncú billenőasztal vázlatát szemlélteti a 7. ábra.

A billenőasztal kinematikai láncában három darab A_i ($i=1 \dots 3$) jelölésű aktív aktuátor foglal helyet. Az aktuátorok alsó bekötési pontjai a rögzített platformhoz a $K_{f,i}$ ($i=1 \dots 3$), míg a felső bekötési pontjai a mozgó platformhoz a $K_{m,i}$ ($i=1 \dots 3$) kardáncsuklókon keresztül történik. A K_k rögzített központi kardáncsukló a mozgó platformhoz kötött. Az aktuátorok egyidejűleg lineáris és forgó mozgás megvalósítását teszik lehetővé az előírt munkadarab orientációnak megfelelően.



7. ábra. Központi kardáncsuklós billenőasztal kinematikai vázlatja.

Az 1. táblázat tartalmazza a kinematikai lánc negyedosztályú kényszerei számát és elmozdulásokat.

1. táblázat. A kinematikai kényszerek szabadságfokainak száma.

Jelölés	Kényszerek száma	Szabadságfokok száma
$A_i (i=1 \dots 3)$	1	2 (lineáris, forgó)
$K_{f,i} (i=1 \dots 3)$	1	2 (forgó, forgó)
$K_{m,i} (i=1 \dots 3)$	1	2 (forgó, forgó)
K_k	1	2 (forgó, forgó)

A billenőasztal szabadságfokának számát a teljes kinematikai lánc kényszereinek ismeretében egy zárt párhuzamos kinematikai láncú mechanizmusnál a módosított Csebisev-Grübler-Kutzbach mobilitási kritérium

$$M = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i - f_p \quad (3)$$

alapján határozhatjuk meg. A (3) egyenletben $\lambda=6$ térbeli mechanizmusnál, n a mechanizmus tagjainak, j a mechanizmus kényszereinek a száma, f_i az i . kényszer szabadságfokának, f_p a passzív szabadságfokoknak a száma. Az A_i jelű aktuátorokban 2 tagot, valamint negyedosztályú kényszereket feltételezve, a rögzített és a mozgó platformot figyelembe véve tagok száma $n=8$, a kényszerek száma

$j=10$ az 1. táblázat szerint. A kinematikai modell és (3) alapján a billenőasztal szabadságfokának száma

$$M = 6(8 - 10 - 1) + \underbrace{(3 \cdot 2)}_{K_{f,i}} + \underbrace{(3 \cdot 2)}_{A_i} + \underbrace{(3 \cdot 2)}_{K_{m,i}} + \underbrace{(1 \cdot 2)}_{K_k} - 0 = 2 \quad (4)$$

adódik. Ha az egyes A_i aktuátorokat, $K_{f,i}$ rögzített, $K_{m,i}$ mozgó és K_k központi kardáncsuklókat ötödosztályú kényszerekre bontjuk, akkor az A_i aktuátorokban 2 elemi kényszer 3 tagot, a kardáncsuklók az aktuátorokat, a rögzített, valamint a mozgó platformot kötik össze így a tagok száma $n=18$, a kényszerek száma $j=20$. Felhasználva a (3) egyenletet az eredmény

$$M = 6(18 - 20 - 1) + 3 \cdot (6 \cdot 1) + (2 \cdot 1) - 0 = 2 \quad (5)$$

változatlan. A fenti modell és a *Csebisev-Grübler-Kutzbach* mobilitási kritérium alapján látható, hogy a kényszerek számának csökkentése a szabadságfokok számát növeli, újabb kényszerek beépítése a kinematikai láncba a szabadságfokok számát redukálja és $M < 0$ esetén a kinematikai lánc túlhatározottá válik. Fontos megjegyezni, hogy a mobilitási kritérium a mechanizmus geometriai méreteit, valamint elrendezését nem veszi figyelembe. Tétélezzük fel, hogy a 7. ábra kinematikai modelljét oly módon változtatjuk, hogy az A_i aktuátorok elrendezése olyan, ahol azok geometriai tengelyei a K_k központi kardáncsukló egyik forgástengelyére illesztett síkban fekszenek (a négy tengely egy síkot határoz meg, geometriailag nem függetlenek). Belátható, hogy ekkor a billenőasztallal megvalósítható orientációs mozgások száma csökken. További hátránya a mobilitási kritériumnak, hogy kötött mozgású párhuzamos kinematikájú mechanizmusoknál nem minden esetben ad megbízható eredményt [12].

3. Összefoglalás

Jelen cikkben bemutattuk a különböző kinematikai láncsal rendelkező szerszámgépek néhány típusát. Megvizsgáltunk egy párhuzamos kinematikai láncsal rendelkező munkadarab orientációját megvalósító két szabadságfokú billenőasztalt a mobilitási kritérium szerint, azonban a mechanizmus alaposabb vizsgálatát célszerű elvégezni más módszerekkel is a mobilitási kritérium hátrányainak kiküszöbölésére.

4. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Tlustý, J., Ziegert, J., Ridgeway, S.: *Fundamental Comparison of the Use of Serial and Parallel Kinematics for Machines Tools*, CIRP Annals, Vol.48 No.1 (1999), pp.351-356, ISSN 0007-8506, [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63200-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63200-4)
- [2] Fassi, I., Wiens, G. J.: *Multiaxis Machining: PKMs and Traditional Machining Centers*, Journal of Manufacturing Processes, Vol.2 No.1 (2000), ISSN 1526-6125, pp.1-14, [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(00\)70008-9](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(00)70008-9)

- [3] Merlet, J.-P.: *Parallel Robots*, Springer 2006, ISBN 978-1-4020-4132-7
- [4] <https://www.mikrolar.com/p1500>
- [5] <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/precision-robotics-and-automation-hexapods-advance-production-processes/>
- [6] Pandilov, Z., Dukovski, V.: *Parallel Kinematics Machine Tools: Overview - From History to The Future*, Annals Of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Vol.10 No.2 (2012), ISSN: 2601-2332, pp.111-124
- [7] Kanaan, D., Wenger, P., Chablat, D.: *Kinematic analysis of a serial–parallel machine tool: The VERNE machine*, Mechanism and Machine Theory, Vol.44 No.2 (2009), pp.487-498, ISSN 0094-114X, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.03.002>
- [8] Pandilov, Z., Dukovski, V.: *Comparison of The Characteristics Between Serial and Parallel Robots*, Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Vol.7 No.1 (2014), ISSN: 2067 - 3809, pp.143-160
- [9] Liu, X.-J., Wang, J.: *Parallel Kinematics - Type, Kinematics, and Optimal Design*, Springer-Verlag, 2014, ISBN 978-3-642-36928-5
- [10] Zhang, D., Wei, B.: *Dynamic Balancing of Mechanisms and Synthesizing of Parallel Robots*, Springer, 2016, ISBN 978-3-319-17682-6, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17683-3>
- [11] Kiss, R., Takács, Gy.: *Szerszámgép struktúrák leírására alkalmas módszerek vizsgálata*, Multidiszciplináris tudományok, 6. kötet 1 sz. (2016), ISSN 2062-9737, pp.
- [12] J. H. Vargas R., O. A. Varela, Á. Valera: *Geometric Analysis of a 3R-2T Low Mobility Parallel Robot*, 2018 IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA), Barranquilla, 2018, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/CCRA.2018.8588154>