FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1997, március 21-23

TOVÁBBFEJLESZTETT JAMMING ELMÉLET

Kiss Attila

Bevezetés

Egy csapnak furatba történő behelyezése a gépalkatrészek automatikus szerelésében az egyik központi probléma. A behelyezés jamminghez (elakadáshoz) vagy wedginghez (beékelődéshez) vezethet, ha szűk illesztésű darabokat alacsony pozicionálási pontossággal bíró robottal szerelünk (Cho, *et al.*, 1987 [1]). A passzív behelyezési folyamatot Simunovic óta diagrammokkal írják le, amelyek szemléltetik a sikeres behelyezés feltételeit (Simunovic, 1979 [2]). Elmélete számos kutatás kiindulópontjának tekinthető. Az elemzés azon a feltevésen alapszik, hogy az egymásba helyezendő hengeres csap és/vagy furat rendelkezik letöréssel, mindkettő merev testként modellezhető, a csap össze van építve egy engedékeny szerkezettel (RCC=Remote Center Compliance) és quasi-statisztikus megközelítés megengedett (Whitney, 1985 [3]).

Simunovic jamming-elmélete

Simunovic vezette be és Whitney terjesztette ki a 2-dimenziós csap-furat probléma analízisét. Az

általuk kidolgozott egyenletek hengeres csapnak hengeres furatba történő behelyezésére vonatkoznak, konstans súrlódási tényezőt tételezve fel a kontaktusoknál. Explicit megoldások érdekében alkalmazták a kis szögekre érvényes közelítő helyettesítéseket ($\sin q \approx q$, $\cos q \approx 1$), a gravitációt és az inerciát elhanyagolták.

1. ábra Simunovic jamming diagramja

A jamminget eredményező feltételeket Simunovic diagramban foglalta össze. Az úgynevezett jamming diagramot mutatja az 1. ábra, amelyre a következő megállapításokat tehetjük:

1. A behelyezési folyamatot leíró egyenletek alkalmazzák a kis szögekre érvényes egyszerűsítéseket: $\sin \theta \approx \theta$; $\cos \theta \approx 1$.

2. A diagram nem tükrözi közvetlenül a kezdeti geometriai hibák (ε_0, θ_0) hatását.
3. Egy adott l behatolási mélységben a csap több pozícióban is lehet (egy-pont érintkezés, két-pont érintkezés) a kezdeti geometria hibák (ε_0, θ_0) függvényében.

Módosított jamming diagram

Egy időskálán futó folyamat aktuális állapota függ a rendszer kezdeti állapotától, azaz egy behelyezési folyamat során a csapra ható pillanatnyi erőrendszernek függenie kell a kezdeti geometriai hibáktól is (ε_0, θ_0). Így a jamming diagramnak tükröznie kell ezen paraméterek hatásait is az erő és nyomaték viszonyokra. Ha nem alkalmazzuk a leíró egyenletek felállításakor a trigonometriai egyszerűsítéseket, akkor egy új diagramhoz jutunk (2.ábra), amelyre a következő megállapításokat tehetjük:

1. Az új diagram nem használ egyszerűsítéseket.
2. Az új jamming-diagram közvetlenül tükrözi a kezdeti geometriai hibák (ε_0, θ_0) és az l behatolási mélység hatásait.

2. ábra A módosított jamming-diagram

kontaktusokban a θ -szög értéke független az l behatolási mélységtől, így c értéke konstans egy adott (ε_0, θ_0)-ra.

$$\frac{M}{rF_z} = \pm \frac{c(\ell + \mu r)}{r(1 + \mu c)} - \frac{\ell + 2\mu r}{r(1 + \mu c)} \cdot \frac{F_x}{F_z} \quad (1)$$

ahol

$$c = \frac{\cos \theta - \mu \sin \theta}{\sin \theta + \mu \cos \theta} \quad (2)$$

Ha l növekszik, a diagram összenyomódik hasonlóan Simunovic leírásához. Ekkor azonban az új jamming diagramban a két-pont érintkezéseket reprezentáló vonalak száma csökkenni fog.

Esettanulmány

Annak érdekében, hogy az előzőekben bemutatott elméleti okfejtések gyakorlati hasznát bemutassam, egy esettanulmányt készítettem egy elektromágneses szelep két alkatrészére: furatként a “hüvely”, csapként a “záróelem” elnevezésű darabot választottam. Az esettanulmány bemenő paramétereit:

- az RCC rotációs merevsége: $K_Q = 53000 \text{ N/rad}$.
- az RCC laterális merevsége: $K_X = 7 \text{ N/mm}$.
- az RCC-középpont távolság: $L_g = 45 \text{ mm}$.
- a súrlódási tényező: $\mu = 0.1$.
- A “hüvely” átmérője D : $D_{\max} = 12^{-0.04} \text{ mm}$ ($R_{\max} = 5.98 \text{ mm}$), $D_{\min} = 12 - 0.1 \text{ mm}$ ($R_{\min} = 5.95 \text{ mm}$).
- A “záróelem” átmérője d : $d_{\max} = 11.8^{-0} \text{ mm}$ ($r_{\max} = 5.9 \text{ mm}$), $d_{\min} = 11.8 - 0.03 \text{ mm}$ ($r_{\min} = 5.885 \text{ mm}$).
- A maximális kezdeti szöghiba, amelynél a záróelem még belefér a hüvelybe $q_{0m} = 9.88^\circ$ a maximális játékra. A két-pont érintkezés kezdetén a q -szög értéke 10.23° .
- $q_{0m} = 7.03^\circ$ és $q = 7.43^\circ$ a minimális játék esetében.

Mivel a véletlen esetek kivételével sem a $q_{0m} = 9.88^\circ$ sem a $q_{0m} = 7.03^\circ$ nem fordul elő egy valós szerelés során, az (ϵ_0, θ_0) teszt sorozatot a következőként definiáltam:

- kezdeti szög hibák $\theta_0 = 0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ$,
- kezdeti laterális hiba $\epsilon_0 = 1 \text{ mm}$.

Az esettanulmány célja, hogy demonstráljam a kezdeti geometriai hibák és a matematikai egyszerűsítések hatását az erő-nyomaték arányokra, amelyek jamminget okozhatnak. Annak érdekében, hogy kiemeljem a különbségeket, a c -paramétert számítottam ki és hasonlítottam össze az $1/\mu$ -vel, mert Simunovicnál a c mindig egyenlő $1/\mu$ -vel. Az esettanulmány figyelembe veszi az $R_{\max} - r_{\min}$ és $R_{\min} - r_{\max}$ gyártási tűréseket (lásd 1. táblázat).

1. táblázat Az esettanulmány eredményeinek összefoglalása

θ_0	$r_{\min}, R_{\max}, \epsilon_0$		$r_{\max}, R_{\min}, \epsilon_0$	
	θ	c	θ	c
0°	0.482°	9.298	0.449°	9.266
1°	1.4°	8.015	1.422°	7.991
2°	2.43°	6.991	2.451°	6.973
3°	3.4°	6.236	3.422°	6.221
4°	4.427°	5.593	4.448°	5.581
5°	5.396°	5.094	5.417°	5.084

Az esettanulmány fő eredményeként látható, hogy a c -paraméter értékei határozottan különböznek még a kezdeti szöghiba $\theta_0=1^\circ$ értékére is ($c=8.015$ a minimális játékra és $c=7.991$ a maximális játékra) az $1/\mu=10$ -től, amely minden $(\varepsilon_0, \theta_0)$ -ra érvényes Simunovic tanulmányában (lásd 3.ábra).

Összefoglalás

Ez a dolgozat Simunovic jamming elméletét veszi revízió alá oly módon, hogy a leíró egyenletekben az általánosan használt trigonometriai egyszerűsítéseket ($\sin q \approx q$, $\cos q \approx 1$) nem alkalmazza. Az így kapott egyenletek segítségével egy új jamming diagram rajzolható, amely a behelyezési folyamat eddig nem tárgyalt elemeit is tartalmazza,

valamint tükrözi a kezdeti geometriai hibáknak a sikeres szerelés erő- és nyomaték-feltételeire kifejtett hatását is. Ez a hatás egy újonnan bevezetett " c " tényezőn keresztül tükröződik. A dolgozat tartalmaz egy esettanulmányt egy elektromágneses szelep két alkatrészére kidolgozva, és kimutatja, hogy a Simunovic-elmélet és az új elmélet között jelentős az eltérés egy valós szerelési feladatban is.

A dolgozat a CP 940510 "ROBAS" Copernicus project támogatásával jött létre.

Irodalom

- [1] Cho, H.S., Warnecke, H.J. and Gweon, D.G. (1987), Robotic Assembly: A Synthetizing Overview, *Robotica*, Vol. 5, pp. 153-165.
- [2] Simunovic, S.N. (1979). *An Information Approach to Part Mating*, Ph.D. thesis. MIT, Cambridge, Massachusetts.
- [3] Whitney, D.E., Part Mating in Assembly, in *Handbook of Industrial Robotics* (1985), ed. Nof, S.Y., John Wiley & Sons, New York.

3. ábra A " c " paraméter értékei

Kiss Attila okl. gépészmérnök, doktorandusz hallgató, Budapesti Műszaki Egyetem,
Gépgyártástechnológia Tanszék, H-1111 Budapest, Egry J. u. 1., Tel: (+36-1) 463-2123, Fax:
(+36-1) 463-3178, e-mail: kiss@next-lb.manuf.bme.hu