

SPECIÁLIS GEOMETRIÁJÚ GÉPELEMEK REKONSTRUKCIÓJA

Bihari Zoltán¹ - Szente József²

egyetemi adjunktus¹ - egyetemi docens²

Miskolci Egyetem, Gép-és Terméktervezési Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
machbz@uni-miskolc.hu¹, machszy@uni-miskolc.hu²

Összefoglalás

A gépjármű indítómotorok feladata az, hogy a belsőégésű motort az indításhoz szükséges fordulatszámmal megforgassák. A hajtás egyik eleme egy forgásirány-kapcsoló tengelykapcsoló. Ennek az a feladata, hogy a nyomatékot a hajtott oldalra továbbítsa, a hajtott oldal megforgassa, majd a belsőégésű motor beindulását követően, amikor a hajtott oldal fordulatszáma meghaladja a hajtót, oldja a kapcsolatot. Jelen dolgozatban a megértést segítő fogalmak tisztázása után egy olyan módszert mutatunk be, amely segítségével meghatározható a csillagkerék profilgörbéjének az alakja. A módszer lehetővé teszi ismeretlen szabadonfutók rekonstrukcióját.

Kulcsszavak: forgásirány-kapcsoló tengelykapcsoló, szabadonfutó, logaritmikus spirális.

Abstract

The task of the starter motors is to rotate the combustion engines to the necessary rotational speed. An element of the mechanism is a free running clutch. It has two functions. The first one is the torque transmission from the driving member to the driven shaft, and to speed up the combustion engine. The other function is to disconnect the elements, when the combustion engine has already turned over, and the driven shaft rotates faster than the driver. In this paper the fundamental knowledge is presented and a new method which helps us to determine the inner profile curve at the housing of the clutch. This method gives a chance to reconstruct roller freewheels having unknown geometry.

Keywords: free running clutch, roller freewheel, logarithmic spiral.

1. Bevezetés

Ebben a tanulmányban a gyakorlatban alkalmazott külső csillagkerekű görgős szabadonfutó geometriájával foglalkozunk. A vizsgálat célja annak kiderítése, hogy egy tetszőleges, a gépjárműiparban alkalmazott szabadonfutó csillagkerekének profilja milyen görbével írható le a legpontosabban, illetve feltételezve a logaritmikus spirális, hogyan rekonstruálható a profilgörbe.

A feladat elvégzéséhez szükség lesz a tetszőlegesen választott szabadonfutó külső csillagkerék profilpontjainak egy x-y koordináta-rendszerbeli ismeretére.

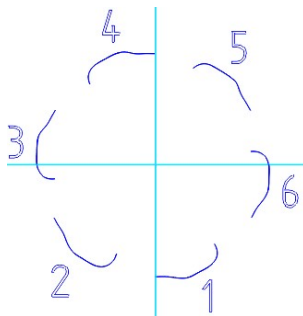
2. A geometria meghatározása

A geometria meghatározására többféle módszerrel is kísérletet tettünk. A cél a tervezési feltétel (zárószög) minél pontosabb meghatározása, a geometria matematikai leírása annak érdekében, hogy a további mechanikai, szilárdsági számítások elvégezhetőek legyenek. A mérés egy DEA-IOTA 0102, portál típusú 3D-s mérőberendezésen történt. Az eljárás előnye, hogy a további körültekintés mellett kizárható az emberi tényező, a vizsgálat reprodukálható, és minden esetben ugyanazt a geometriát szolgáltatja. A mérőgép tengelyenként 0,002 milliméter pontossággal dolgozik, mely esetünkben megfelelő, hiszen a gyártási technológia hibája, illetve a darab tűrése ennél lényegesen nagyobb.

3. A zárószög meghatározása grafikus úton

Ismertnek tekinthetjük a ház profiljának tetszőleges számú x-y-z koordinátáját. Ezen koordináták által meghatározott pontok CAD rendszerben grafikusan megjeleníthetők. Az erre a célra felhasznált CAD rendszer – Solid Edge V20 – képes egy adatbázisból kivenni, és asszociatív módon kezelni a koordinátákat, valamint egy folytonos B-szplájnt illeszteni a koordináták által leírt pontokra. Ez a módszer nagy számú, és esetleg különböző típusú szabadonfutók viszonylag gyors vizsgálatát teszi lehetővé.

A rekonstrukció pontossága kizárólag a felvett pontok sűrűségétől, a mérőgép hibájától, illetve a mért darab gyártási pontosságától függ. Az alábbi ábrán a mérőgép által szolgáltatott koordináták alapján elkészített geometria látható.



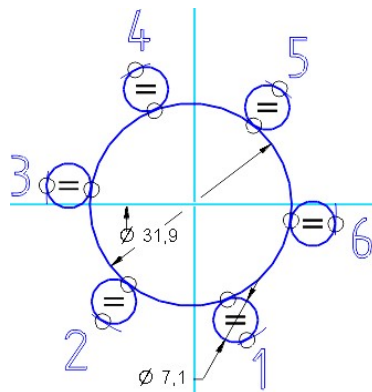
1. ábra A pontkoordinátákkal visszaállított görbeprofilok

3.1. A geometriai középpont keresése

A 3D-s mérőgép által felvett geometria a mérőgép egy helyi koordináta-rendszerében került rögzítésre. Ez alkalmas az egyes profilgörbék egymáshoz viszonyított helyzetének vizsgálatára, viszont nem tartalmaz információt a tényleges geometriai középpontról, amely a későbbiekben az agy középpontjával esik egybe.

A középpont-korrekció szükséges mértékét grafikus úton fogjuk meghatározni. Az 1. ábra szerint a mért pontok nemcsak a görgő lehetséges érintkezési pontjait tartalmazzák, hanem az ehhez folytonosan csatlakozó ív-részeket is. Ezeket el kell távolítani a geometriai modelltől.

A továbbiakban helyezzünk el egy, az agy átmérőjének megfelelő kört, valamint a görgők számának és átmérőjének megfelelő köröket az ábrába. Amennyiben kihasználjuk a CAD rendszer parametrikus tulajdonságait, és geometriai kényszerekkel rögzítjük a fent említett elemek pozícióit (érintő kényszert alkalmazunk a görgőket jelképező körök és a profil, valamint az agyat jelképező kör közé), az agy középpontjának egy lehetséges helyzetét kapjuk (2. ábra).



2. ábra A lehetséges érintkezési pontokat tartalmazó görbék

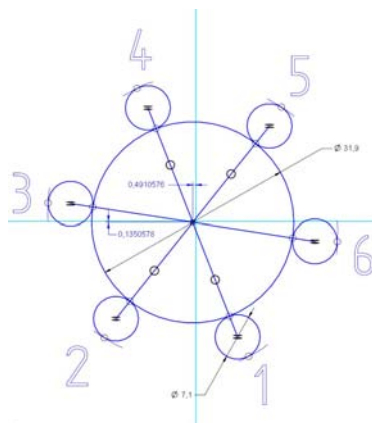
Amennyiben a mért profilgörbék teljesen azonos geometriával rendelkeznek, akkor a középpont meghatározása egyszerű lenne, hiszen a koordinátákat a CAD rendszerből leolvashatnánk. Mivel azonban a vizsgált görbék egy valós szerkezetről felvett kontroll-pontokra illeszkednek, a keresett középpont nem egyértelműen meghatározott, hanem egy bizonyos tartományon belül bárhol lehet. Ez a tartomány a CAD rendszer segítségével meghatározható oly módon, hogy tetszőleges x koordináta esetén megvizsgáljuk, milyen y minimális, illetve maximális értékek között van megoldása a geometriai modellnek. A megoldás peremfeltétele az, hogy az előzőekben tárgyalt érintő kényszerek elhelyezhetők legyenek. Az így definiálható tartományon belül a középpont tetszőlegesen bárhol elhelyezkedhet.

A geometriai rekonstrukció miatt azonban ezen a tartományon belül választani kell egy pontot, amelyet a továbbiakban olyan bázispontnak tekintünk, amelynek felhasználásával a logaritmikus spirális egyenlete felírható lesz minden egyes görbére. A megoldás kereséséhez a továbbiakban tekintsük át az ábrába berajzolt körök lehetséges szabadságfokainak számát. Amennyiben egy kört definiálunk valahol a síkon, akkor a lehetséges szabadságfokainak száma három (x , y pozíció és a kör sugara vagy átmérője). Ennek a három szabadságfoknak a megadása, illetve rögzítése egyértelműen meghatározza a kört. Jelen esetben hét darab kört kellett

rajzolni (6 db görgő és az agy), melyek összes kényszereinek száma $7 \times 3 = 21$. A 2. ábra szerint felépített modell lekötött szabadságfokainak száma 19. A maradék 2 kényszer lekötéséhez új peremfeltételek bevezetésére van szükség.

A rekonstrukció eredménye egyetlen logaritmikusan spirális egyenlet két paramétere lesz. Ennek az egyenletnek mind a hat görbére a lehető legkisebb eltérést kell mutatnia. Ezért a leendő középpont az a pont lesz, amely körül majd a görbéket megfelelő szögekkel elforgatva ugyanazon tetszőleges pontba, a görbéknek fedésbe kell kerülniük egymással. (Mivel valós darabról készült mérési pontokkal dolgozunk, ez természetesen csak egy idealizált állapot. A valóságban biztosan lesz eltérés.) A feladatunk tehát azon középpont keresése, melynél ez az eltérés minimális lesz.

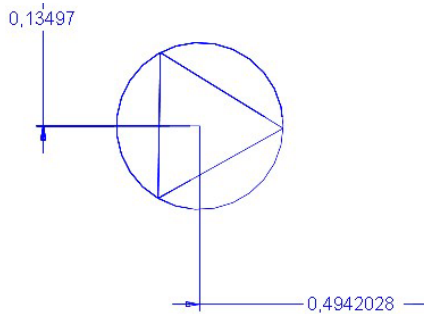
A fennmaradó két kényszer lekötésére három lehetőség is kínálkozik. Amennyiben az agyat jelképező kör középpontját rendre összekötjük a görgőket jelképező körök középpontjával, ezen egyenesekre további geometriai kényszerek adhatók meg. Mivel az egymással szemben elhelyezkedő körök az elforgatás során éppen 180 fokkal fordulnak egymásba, megadható az egymással szemben elhelyezkedő egyenesek között az ún. egy egyenesre eső (collinear) kényszer. Erre a fentiekben leírtak szerint három lehetőségünk van, hiszen három pár egymással szemben elhelyezkedő kör létezik, de csak két szabadságfok (3. ábra). Bármelyik kettő megadása egyértelműen definiálja a geometriát, és egy-egy középpontot kapunk.



3. ábra Egy lehetséges kényszermegadás

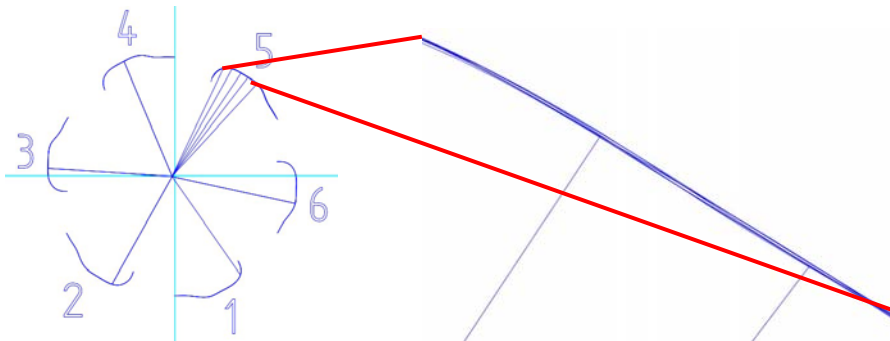
A kapott lehetséges középpontok a CAD modellről leolvashatók. A továbbiakban a kapott három pont közül, illetve a három pont által meghatározott háromszögön belül, el kell dönteni, hogy hol vesszük fel azt a középpontot, melyet a geometriai középpontnak fogunk tekinteni. Részben célszerűségi okokból, részben pedig a vizsgálatok tapasztalatai alapján választjuk a középpontnak a három pont által meghatározott háromszög csúcspontjai köré írható kör középpontját (4. ábra).

A középpont koordinátái az ábráról leolvashatók, vagy matematikai úton is meghatározhatók.



4. ábra Középpont koordinátái

A továbbiakban egy egyszerű geometriai vizsgálattal fogjuk ellenőrizni, hogy a meghatározott tervezési középpont jó választásnak bizonyult-e. Amennyiben a választott középpont körül az egyes mért görbéket egymásra forgatjuk egy önkényesen kiválasztott profilra (legyen ez esetünkben az 5. jelű), pozíciójuknak megfelelő szögekkel (60, 120, stb...), úgy a hat görbe egymástól való eltérése jól láthatóvá és mérhetővé válik (5. ábra).



5. ábra Egymásra forgatott görbék

Az eltérés, figyelembe véve az esetleges gyártási pontatlanságot, illetve a szabadonfutó használat közbeni esetleges kopását, elfogadhatónak mondható. Kijelenthetjük tehát, hogy a meghatározott tervezési középpont megfelel arra a célra, hogy a további rekonstrukciós folyamatban alapparaméterként felhasználásra kerüljön.

3.2. Rekonstrukció

Az 5. ábra szerint még mindig hat egymástól – ugyan már minimálisan – eltérő görbével rendelkezünk. A tervezési alapparaméterek (r_0 ; β) meghatározásához ezt a hat görbe által meghatározott tartományt kell tovább vizsgálni. Mivel a görbék

egymást többszörösen átmetszve haladnak, ennek a sávnak a további szűkítésére nincs lehetőség. Ezért a hat görbe által meghatározott – vizsgált sávon belül és kívül futó – képzeletbeli helyettesítő görbére felírhatunk egy-egy egyenletet (logaritmikus spirálist). A továbbiakban a két görbe pontjait „B” (belső) és „K” (külső) index használatával különböztetjük meg (pl.: r_{1B} ; θ_{1B} , stb.). A görbék elvi egyenletei a következő összefüggéssel határozhatók meg.

$$r = r_0 \cdot e^{-k \cdot \theta} . \quad (1)$$

A polár-koordinátás alakban megadott egyenletben szereplő r_0 paraméter a koordináta-rendszer origójától mért távolság, a k paraméter pedig az origóból húzott egyenes és a görbe érintő szögének kotangense:

$$k = \text{ctg } \beta . \quad (2)$$

A logaritmikus spirálisnak az a jellegzetessége, hogy a β szög állandó értékű bármely tetszőlegesen választott pont esetén.

Válasszunk ki két tetszőleges pontot az $(r; \theta)$ polár koordinátákkal, mind a külső, mind a belső helyettesítő görbén. Jelölje a pontokat „1” és „2” index. Ezek a pontok a CAD rendszer segítségével számszerűen is rendelkezésre állnak. Írjuk föl az egyenletet a tetszőlegesen fölvelt pontokra:

$$r_0 = r_1 \cdot e^{k \cdot \theta_1} = r_2 \cdot e^{k \cdot \theta_2} . \quad (3)$$

Átalakítások után a (3) alapján a „ β ” érintőszög értéke kifejezhető mind a belső, mind a külső részen futó helyettesítő görbe esetén (β_B, β_K):

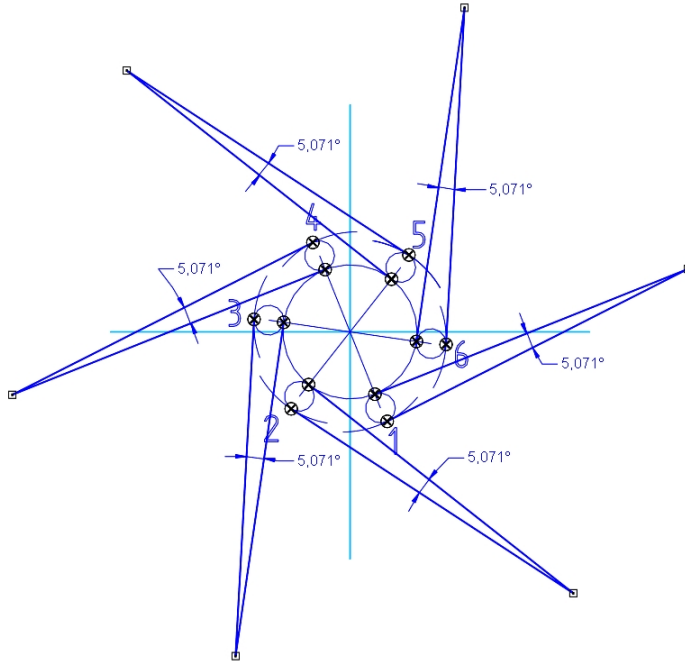
$$\beta = \arctan \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} . \quad (4)$$

Az (1) egyenletben szereplő r_0 a logaritmikus spirális egy adott kezdőszöghöz tartozó sugara. Ezt az r_0 sugarat önkényesen válasszuk egy adott θ_0 szögeértékhez. Természetesen a belső és a külső képzeletbeli helyettesítő görbéhez külön-külön fel kell venni ezt a sugarat, különbséget közöttük a fentiekben meghatározott indexelt jelölésben teszünk (r_{0B}, r_{0K}). A továbbiakban a θ szöveget ettől a θ_0 szögtől értelmezve, a belső és a külső helyettesítő görbe egyenlete:

$$r_B = r_{0B} \cdot e^{-\theta \cdot \text{ctg } \beta_B} , \quad r_K = r_{0K} \cdot e^{-\theta \cdot \text{ctg } \beta_K} \quad (5)$$

Az egyenlet ismeretében a kérdéses görbe tetszőleges pontossággal megszerkeszthető, és összehasonlítható a mérésből származó pontsereghez illesztett közelítő szplájnnal. A többi elméleti görbe pontjait úgy állíthatjuk elő, hogy a számított görbét a középpont körül megfelelő szöggel elforgatjuk (6. ábra). Amennyiben ebben az ábrában az agynak és görgőknek megfelelő köröket megjelenítjük, és a kapcsolódási pontokat a megfelelő geometriai kényszerekkel ellátjuk, akkor kizárólag egy lehetséges pozícióban helyezkedhetnek el a görgők, mind a belső, mind a külső helyettesítő görbén (6. ábra).

Ha az így kapott logaritmikus spirális és görgő érintkezési pontra, valamint az agy és görgő érintkezési pontra az érintőket berajzoljuk, akkor az ábráról lemérhető a $2\alpha_B$ zárószög nagysága (matematikai úton is számítható), amelynek most már bármely görgő esetén azonosnak kell lennie (6. ábra).



6. ábra Görgők elhelyezkedése és a zárószög érték meghatározása grafikusán

Hasonlóan a β_B szög értéke is lemérhető az ábrából, vagy matematikai úton meghatározható. A geometriai modell alapján az α és β szögre vonatkozóan az alábbi összefüggések írhatók föl:

$$r \cdot \sin \beta = (r_b + r_g) \cdot \cos 2\alpha + r_g, \quad (6)$$

$$r \cdot \cos \beta = (r_b + r_g) \cdot \sin 2\alpha. \quad (7)$$

Kifejezve az r érintkezési pontot mindkét egyenletből, és azokat egymással egyenlővé téve, átalakítások után az alábbi eredményhez jutunk:

$$\beta_B = \arctan \frac{(r_b + r_g) \cdot \cos 2\alpha_B + r_g}{(r_b + r_g) \cdot \sin 2\alpha_B}. \quad (8)$$

Alkalmazva a fentiekben tárgyalt módszert a külső helyettesítő görbére is, a zárószög értékére $2\alpha_K$ és az érintőszög értékére β_K meghatározható. Számszerű értékeket behelyettesítve, a két érintőszög közötti eltérés alig volt több mint 0,01%.

4. Összefoglalás

A külső csillagkeres görgős szabadonfutók esetén a profilgörbe ismeretének gyakorlati jelentősége többérté. Egyrészt a logaritmikus spirális görbe jó illeszkedése a mért pontokra megbízhatóan igazolja a kezdeti hipotézist, valamint a szakirodalmi adatokat, melyek a görbe típusára, illetve leírására vonatkoznak.

Az egyenlet ismerete továbbá segítséget nyújt a külső csillagkeres görgős szabadonfutók felújításához, melyre sok egyéb tevékenység mellett bizonyos cégek szakosodtak. A durva hibáktól mentes külső csillagkerék újból felhasználható, annak belső felületén semmilyen megmunkálás nem történik. Az agy futófelületét viszont – mint leginkább kopásnak kitett elemet – esetleg felülmunkálják, újra megköszörülik. A köszörülés hatására az elem átmérője szükségszerűen csökken, így az összeépítés során nem zárható ki annak lehetősége, hogy nagyobb átmérőjű görgőket kell beépíteni a szerkezetbe. Amennyiben azt szeretnénk, hogy a görgők és a csillagkerék közelítőleg az eredeti pozícióban kapcsolódjanak, – logaritmikus spirális felső harmada – az egyenlet ismeretében megmondható, hogy az agy átmérőjének csökkenése milyen mértékű változást indokol a görgők méretére vonatkozóan.

Nem utolsó sorban az egyenlet ismerete lehetőséget teremt a pontosabb szilárdsági számítások elvégzéséhez, melynek részletezésére egy későbbi szakcikkben kerítünk sort.

5. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az ME Gépgyártástechnológiai Tanszékének a mérésben nyújtott hatékony közreműködésért.

Ez a kutatási eredmény a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV kódszámú „A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” című pályázat keretében valósult meg.

6. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Terplán, Z., Nagy, G., Herczeg, I.: *Különleges tengelykapcsolók*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [2] Stölzle, K., Hart, S.: *Freilaufkupplungen Berechnung und Konstruktion*, Springer-Verlag, 1961.
- [3] Niemann, G., Winter, H.: *Maschinenelemente*, Band III. Springer Verlag. 1983. p. 270-290.
- [4] Bihari, Z., Szente, J.: *Az állandó zárószög feltétele görgős szabadonfutóknál*, Gép LXI. évfolyam. 2010/9-10. p. 11-13.
- [5] Szente, J., Bihari, Z.: *Szabadonfutó tengelykapcsolók vizsgálata*, Gép LVI. évfolyam 2005/11-12. p. 161-166.