

FORGATÓ CSAVARRUGÓ FEJLESZTÉSE DÖRZSBOLYGÓMŰHÖZ HELICAL TORSION SPRING IMPROVEMENT FOR EPICYCLIC TRACTION DRIVE

Németh Géza *Dr. PéterJózsef* *Dr.habil Döbröczöni Ádám* *Németh Nándor*
egyetemi adjunktus *egyetemi docens, PhD* *egyetemi tanár, CSc* *MSc hallgató*
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék *ELTE Informatikai Kar*

ABSTRACT

The epicyclic traction drives transmit torque through shape closing connections. Two or more planetary wheels are in contact with the sun wheel, decreasing the torque should be transmitted in one pair of contacting surfaces. The load is distributed along the face width of wheels. The flexible body of the wheel helps the uniform load distribution both along and between the contact lines. The authors suggest a special preceding shape of the flexible wheel which is a helical torsion spring, made of sheet metal and uniformly stressed.

1. BEVEZETÉS

A dörzsbolygóművek súrlódó kapcsolatokon keresztül módosítják a bemenő forgó mozgás jellemzőit. A rendszerint több beépített bolygókerék a teljesítmény megosztás előnyét biztosítja, a rugalmas elemkialakítás pedig az érintkezési vonalak mentén az egyenletesebb terheléelosztást. A rugalmas elem a csavarrugó, mely henger alakú és dörzskerékként működik. Rugalmasságánál fogva biztosíthatja az összeszorító erőt, lehetőség szerint a terheléssel arányos mértékben. A forgató csavarrugó megközelítőleg egyenszilárdságú, ha csak végein keresztül kapja terhelését. Egy napkerékként beépített csavarrugó azonban sok erő illetve nyomtatékátadási hellyel jellemezhető. E cikkben a szerzők az egyenszilárdságú forgató csavarrugó egy lehetséges kialakítását mutatják be.

2. FORGATÓ CSAVARRUGÓK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

Dörzsbolygóművek napkereke, gyűrűkereke és bolygókereke egyaránt készülhet csavarrugóból. A csavarrugó gyártástechnológiája az egyik legfontosabb tényező, mely a rugó végleges alakjára, ezzel beépítési lehetőségére, terhelésátadó helyeire, teljes terheléeloszlására és alakváltozási állapotára hatással van. Ugyanakkor

a rugó alakja meghatározza a célszerű gyártástechnológiát. Csavarrugók területén az alapvető gyártástechnológiák a tekercselés és a forgácsolás. E szerint megkülönböztetünk tekercselt és forgácsolt csavarrugókat. Más az előgyártmánya egy tekercselt rugónak és más egy forgácsoltaknak. A tekercselt rugóké a különböző szelvényű rugóacél huzalok, a forgácsoltaké általában rugóacél csövek, de lehetnek bonyolultabb idomok is, hiszen forgácsolt rugók esetén a kapcsolódó funkciók illetve kapcsolódó alkatrészek egy darabban egyesíthetőek.

Általában a képlékenyalakítás és a forgácsolás egyaránt szerepet kap egy-egy rugó létrehozásában. Elképzelhető olyan gyártási folyamat is, melynek kiinduló nyersanyaga rugóacél lemez. Ekkor például lézervágással hozhatjuk létre a később képlékeny alakítással – tekercseléssel – készülő rugó előgyártmányát. A huzalból képlékeny alakítással készülő hengeres csavarrugók kialakítása ismert, ezekkel jelen cikk keretében nem foglalkozunk. Megemlíthetjük azonban, hogy huzalból tekercselhető változó emelkedésű, sőt változó emelkedési irányú rugó is, és megfelelő befoglalás esetén több bevezetésű rugó is megvalósítható. A csőből forgácsolással (esztergálással, marással, szikraforgácsolással) létrehozott rugók változatos kialakítása és lehetőségei a szakirodalomból és az ipari gyakorlatból ugyancsak ismertek, bővebben most ezeket sem említjük. Az acéllemezből készülő csavarrugókkal viszont részletesen foglalkozunk. A napjainkra igen elterjedt lézersugaras lemezvágás a nagy rugalmasság mellett olcsó lehetőséget kínál csavarrugók változatos kialakítására. Olyan lehetőségeket, melyeket a huzal előgyártmányból kiinduló technológia egyáltalán nem biztosít, a forgácsolás pedig a gazdaságos gyártás követelményét nem tudja teljesíteni.

A lemezből készülő forgató csavarrugók lehetnek állandó és változó keresztmetszetűek,

állandó és változó menetemelkedésűek, állandó és változó emelkedés irányúak, egy-, két- vagy több bekezdésűek.

3. LEMEZ ELŐGYÁRTMÁNYÚ HENGERES FORGARTÓ CSAVARRUGÓK MÓDSZERES SZÁRMAZTATÁSA

Vegyük számba az alcímben említett forgatórugók főbb geometriai jellemzőit. A rugószelvény téglalap. Szélessége, sőt vastagsága is a lemezszalag előgyártmánytól függően állandó vagy változó lehet. Az emelkedés iránya bal, jobb vagy vegyes. A menetemelkedés nagysága és szöge, a szelvényhézag egyaránt lehet állandó vagy változó. A rugó végződése zárt vagy nyitott, és e mellett lehet megmunkált is. A bekezdések száma egy vagy több. A külső nyomtérk átadásának helye lehet az egyik rugóvég, vagy a rugó hossza mentén bármely más hely.

A felsorolt változatok egy része csak elvi jelentőségű megoldást tükröz, más részükhöz egymással összefügg, így az áttekinthetőség érdekében szűkítjük a mértékadó tulajdonságok körét!

Készüljön az előgyártmány állandó vastagságú lemezből. Legyen a szelvények közötti távolság, a szelvényhézag állandó, azaz változó szelvény szélességhez egy arányosan változó emelkedés és emelkedési szög tartozzon. Változó szelvény szélességnél a változás iránya is egyértelmű: a külső terhelés átadásának helyén legyen szélesebb, a szabad vég felé pedig keskenyedjen. Így közeledhetünk a rugó egyenfeszültségi állapotának biztosítása felé. Legyen a rugó mindig hengeres, nyitott végződésű, vége simuljon a tengelyre merőleges síkhoz, mint a hagyományos köszörült nyomó csavarrugóknál. A rugóból készült dörzskerekek megcsúszásának veszélye csökkenthető a menetemelkedési szög kis értéken tartásával. Ez a követelmény korlátja lesz a lemez szélességének, a szelvényhézagnak és a bekezdésszámnak. Ennek megfelelően kis szélességű lemezből tekerceseljük a rugót a lehető legkisebb és állandó (zérus) szelvényhézaggal, mely hézag a kirugózás miatt mégiscsak határozottan jelen lesz, és lehetővé teszi a beszereléskor szükséges átmérőcsökkentést. A szimmetrikus terhelés követelménye miatt a rugó bekezdéseinek számát növelhetjük, de a menetemelkedési szög felső korlátja miatt legfeljebb kétfőre. A bal és jobb emelkedésű rugó egymástól nem, csak a változó emelkedés-

sítől különbözik lényegesen. Az emelkedés iránya egyértelműen meghatározza a külső nyomtérk irányát és átadásának helyét. Végig azonos emelkedési irányú rugót az egyik végén, a változó emelkedési irányút a változás helyén (a hossz mentén középen) hajtjuk meg.

A megmaradó, változatosságot létrehozó szempontokat az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat Forgató csavarrugók változatossága

1. Szelvény szélesség (és egyben az emelkedési szög)	1.0 Állandó 1.1 Változó
2. Bekezdések száma	2.0 Egy 2.1 Kettő
3. Emelkedés iránya	3.0 Végig azonos 3.1 Változó

Az 1. táblázat szerinti lehetséges, egymástól lényegesen különböző rugóalakokat a 2. táblázat sorolja fel. A háromjegyű bináris kódok az 1. táblázat 3., 2. és 1. sorának megfelelő két-két változatot jelölik. A jelképek a behajtás helyéről is tájékoztatnak. Modell csak az állandó emelkedési szögű (000, 010, 100, 110) változatokról készült.

2. táblázat Rugóalakok

Kód	Jelkép	Modell
000		
001		
010		
011		
100		
101		
110		
111		

4. A CSAVARRUGÓ TERHELÉSE ÉS EGYENSZILÁRDSÁGA

Korábbi munkánkban már bemutattuk, hogy a napkerékként működő, Q számú bolygókerékkel kapcsolódó n menetszámú forgató csavarrugó sugár irányú terhelései a Qn érintkezési pontban egyenlőek lehetnek, így a μ_i tapadási tényezővel számított, ugyancsak Qn számú F_i érintő irányú erők is. A sugárigányú erők okozta hajlító igénybevétel közel állandó, értéke $\rho_0 F$, az érintő irányú erők okozta hajlító igénybevétel pedig nullától $n \cdot Q \cdot \rho_0 F_i$ -ig közel lineárisan változik.

Figyelembe véve az $F_t = \mu_t \cdot F$ súrlódási törvényt a fő igénybevételt okozó hajlítás a csavarrugó szabad végétől a hajtó tengelyhez csatlakozás felé az

$$M_{hj} = F \left(1 + \frac{Q \cdot s}{2\pi} \mu_t \right) \quad (1)$$

függvény szerint változik az s ívkoordináta mentén, $s = 0 \dots \rho_0 \cdot 2\pi \cdot n$ között, ahol $s = \rho_0 \cdot \varphi$ és ρ_0 a rugó görbületi sugara.

A rugó fő igénybevétele hajlítás. A lemezvastagság állandó, így szélességét az (1) hajlító nyomatéknak megfelelően kell változtatni az s ívkoordináta mentén.

5. AZ ELŐGYÁRTMÁNY ALAKJA

Lemezről tekercselt hengeres csavarrugók esetén előgyártmánynak a tekercselésre előkészített, számítógéppel segített eljárással tervezett és gyártott lemezszalagot értjük. Az előgyártmánynak meg kell felelnie a tervezés során megfogalmazott követelményeknek, melyek részben geometriaiak, részben szilárdságiak. Geometriai követelmény lehet az állandó szelvényhézag. Állandó szalagszélesség mellett ezt könnyen biztosítjuk, az egyenszilárdságú kialakítást biztosító változó szalagszélesség esetén a feladat pontosabb megfogalmazást igényel. A gazdaságos gyártáshoz a hulladékmentes lemez kivágás is hozzátartozik, melyet szem előtt tartunk.

A feladat matematikai megfogalmazásának egyszerűsítése érdekében tekintsünk egy elhanyagolható vastagságú lemezt, továbbá hézagmentes tekercselést tételezzünk, számítva a rugóacél lemez kirugózására. A lineárisan változó hajlítónyomaték lineárisan változó szalagszélességet kíván.

A gazdaságos gyártás csak úgy valósítható meg, ha a változó szélességű szalag határgörbéi azonosak, pontosabban egy konstans értékű eltolással jutunk egyiktől a másikhoz. A szalagot egy d átmérőjű maghengerre kívánjuk feltekercselni hézagmentesen, ezért követelmény, hogy a szalag két határoló görbéjének távolsága a maghenger tengelyére merőleges irányban $a = d \cdot \pi$ állandó érték legyen. A lineáris változást a maghenger tengelyének irányában kell biztosítani a két határgörbe között.

5.1. A feladat matematikai megfogalmazása

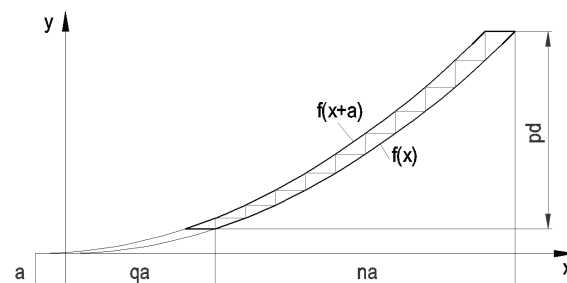
Helyezzük az előgyártmányt az x - y derékszögű koordináta rendszerbe és legyen a maghenger tengelye y irányú. A szalag felső határgörbéje legyen az $f(x+a)$, alsó határgörbéje pedig az $f(x)$ függvény, ahol x a független változó, $a = d \cdot \pi$ pedig a már említett konstans, a maghenger kerülete. Az előgyártmány szélessége lineárisan változzon, tehát a két függvény különbsége egy lineáris függvény legyen, azaz

$$f(x+a) - f(x) = mx + b. \quad (2)$$

Kétszer differenciálva az egyenletet

$$f''(x+a) = f''(x) \quad (3)$$

egyenlethez jutunk, melynek megoldását kx^2 alakban kereshetjük. Az 1. ábra szerint a két függvényből a x tengely mentén a rugó menetszámától függő na szakaszt határolunk le, a lineáris függvény kezdeti értékét pedig a qa kezdőpont befolyásolja. A pd érték a napkerék szélességének felel meg. A könnyebb érthetőség miatt az y irányú méreteket erősen megnöveltük.



1. ábra A függvények megfelelő szakaszának kijelölése

Az ábra szerinti feltételeknek eleget tevő

$$f(x) = kx^2 \quad (4)$$

függvény parabola, ahol

$$k = \frac{p}{(2q+n)n\pi^2} \frac{1}{d}. \quad (5)$$

Ha a legkisebb és legnagyobb szalagszélességet a hajlító igénybevétel változásának megfelelően

$$v_{\min} = (1 + \mu_t) \mu$$

$$\text{és } v_{\max} = (1 + Qn\mu_t)u \quad (6)$$

alakban keressük, számíthatjuk

$$u = \frac{2pd}{n[2 + \mu_t(1 + Qn)]} \quad (7)$$

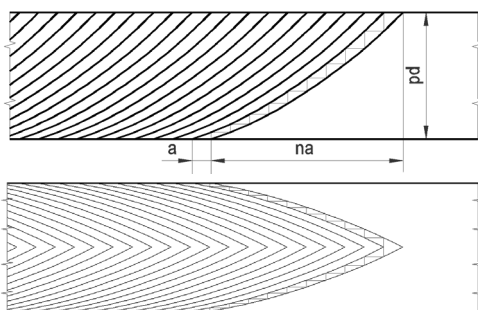
értékét, mellyel a függvény kezdőpontját meghatározó tényező,

$$q = \frac{2(n-1) - \mu_t[n(Q-2)+1]}{2\mu_t(Qn-1)} \quad (8)$$

is számítható. Látható, hogy a függvény kezdőpontja független a napkerék p d szélességétől.

5.2. Az eredmények felhasználása

Egybekezdésű, változó szélességű (egyenszilárdságú) forgató csavarrugó előgyártmányát származtattuk az 1. ábrával és az (1)-(4) összefüggésekkel megfogalmazott feladat megoldásával. Sorozatgyártás esetén a 2. ábra lemezterveit használhatjuk egy végén meghajtott, állandó emelkedésű rugóhoz illetve egy közepén hajtott, változó emelkedési irányú rugóhoz.



2. ábra Lemezterv állandó és változó emelkedési irányú csavarrugóhoz

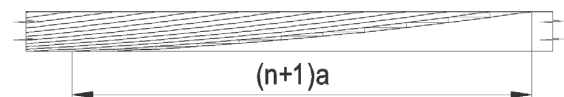
Két bekezdésű rugó esetén az előgyártmányok szélességét felezzük az emelkedési szög növekedésének elkerülésére. A kedvezőbb nyomtérátadás miatt a szélesebb rugóvégen a hegyes alakot módosítjuk. A 2. ábra lemeztervei magukba foglalják a 2. táblázat változó emelkedési szögű (001, 011, 101, 111) változatait.

5.3. Egy példa

A valós arányok bemutatására tekintsünk egy példát. Folytassuk azt, melyet más szempontok szerint az [1] és [2] dolgozatainkban már elkezdtünk.

Legyen a napkerék a kb típusú dörzsbolygómű hajtó eleme, mely egy lemezből tekeresztelt változó emelkedésű egybekezdésű csavarrugó.

$Q=3$ bolygókerékkel érintkeznek, $n=10$ menet-számú. A d átmérőjű napkerék szélességét $p=3$ választásával $3d$ értéken rögzítjük. Az egyenszilárdságú alakhoz a $q=5$ értéket kapunk, így az $f(x)$ függvény értelmezési tartománya az $[5\pi d, 15\pi d]$ zárt intervallum. A lemezterv valós arányait a 3. ábra mutatja.



3. ábra Lemezterv valós arányokkal

6. ÖSSZEGZÉS

Jelen dolgozatunkban áttekintettük, mi módon lehet egyszerű matematikai függvényekkel leírni a változó keresztmetszetű csavarrugó előgyártmányának, a lemezből kivágással készített szalagnak a határoló görbéit, illetve ezeket a függvényeket mely értelmezési tartomány mellett használjuk fel a jobb anyagkihasználás, azaz az egyenszilárdságú alak biztosítása érdekében. Egyelőre csak elméleti megoldást javasoltunk, nem foglalkoztunk a lemezvastagsággal, nem módosítottuk korábbi [1] és [2] dolgozatunkban már bemutatott modelljeinket a változó merevség hatásával, nem vettük figyelembe az előgyártmány vágási vonalának szélességét. Mindez akadályok áthidalhatóak, további munkáinkban kívánunk kitérni e részletkérdésekre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

"This research was carried out as part of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project with support by the European Union, co-financed by the European Social Fund."

IRODALOM

- [1] Németh G., Péter J. & Döbröczöni Á., Csavarrugó alkalmazásas dörzsbolygóműben, OGÉT 2012 XX. Nemzetközi Gépészeti találkozó, EMT, Kolozsvár, 2012, p327-330, ISSN2068-1267.
- [2] Németh G., Péter J. & Döbröczöni Á., Helical Springs in Epicyclic Traction Drives, *Design of Machines and Structures*, Vol. 2, No. 2 (2012), (Megjelenés alatt).