

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni Ádám
elnök

Dr. Kálmán András
főszerkesztő
Dr. Péter József
Dr. Szabó Szilárd
főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István
Bányai Zoltán
Dr. Beke János
Dr. Bercsey Tibor
Dr. Bukoveczky György
Dr. Czitán Gábor
Dr. Danyi József
Dr. Dudás Illés
Dr. Gáti József
Dr. Horváth Sándor
Dr. Illés Béla
Dr. Jármái Károly
Kármán Antal
Dr. Kulcsár Béla
Dr. Kalmár Ferenc
Dr. Orbán Ferenc
Dr. Pálincás István
Dr. Patkó Gyula
Dr. Péter László
Dr. Penninger Antal
Dr. Rittinger János
Dr. Szabó István
Dr. Szántó Jenő
Dr. Tímár Imre
Dr. Tóth László
Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Szerkesztésben közreműködött:
prof. Dr. Tisza Miklós

TISZTELT OLVASÓ!

A Doktori Iskolák eredményességének egyik fontos mérőszáma a Doktori Iskola hallgatói által elkészített és megvédett doktori értekezések száma. A doktori értekezés benyújtásának feltétele, hogy a hallgatók kutatásairól különböző fórumokon beszámoljanak, elért eredményeiket tudományos szakmai fórumokon megméréssék. A tudomány nemzetközi jellege szükségessé teszi az eredmények idegen nyelvű publikálását, ugyanakkor az is fontos követelmény, hogy az ifjú doktorjelöltek szakmai elképzeléseiket, eredményeiket magyar nyelven is szabatosan megfogalmazzák és a tudományos közvélemény elé tárják.

A Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola a hallgatók szakmai munkájának magas minőségét azzal is biztosítani kívánja, hogy követelményként írja elő lektorált magyar és idegen nyelvű szakcikk megjelentetését az értekezés témájából. Az Olvasó a GÉP című folyóirat azon számát tartja most kezében, amelyben a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola hallgatóinak lektorált cikkeit jelentjük meg. A cikkek a gépészeti alaptudományok, a gépjárműtechnológia és a géptervezés tudomány területeihez tartoznak.

Bodzás Sándor cikkében csavarfelületek mérés-technikai elemzésével foglalkozik. A szerző új mérés-technikai eljárást dolgozott ki csavarfelület körasztal nélküli mérésére. A cikk röviden áttekinti a kúpos csavarfelület felírásának matematikai egyenletrendszerét és elemzi az elméleti és a valóságos fogprofilok közötti különbségeket. A kidolgozott mérési eljárás alkalmas a csavarfelületek minősítésére.

Hajdú Sándor keresztáramú turbinák üzemeltetésének sajátosságairól ír. A keresztáramú turbinák egyik lényegi sajátossága, hogy a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő erősen ingadozik, mert a turbinalapát és a közeg közötti kölcsönhatás nem állandó. A cikk bemutatja a belépő sebességi háromszög alakulását és a forgás miatt ciklikusan változó erőket a járókerék fordulatszám és a közegsebesség különböző arányai mellett. Koncsik Zsuzsanna cikkének fő témája új fejlesztésű Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozitok tribológiai viselkedésének vizsgálata. A kutatások fő célja volt a tribológiai jellemzők (kopási tényező, kopási mechanizmus, súrlódási együttható) és egyes mechanikai tulajdonságok (keménység, törési szívósság), illetve a változatos mikroszerkezeti sajátosságok közötti korrelációs kapcsolat vizsgálata. Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapította, hogy a kapott mérőszámok között a műszaki kerámiák esetében is egyértelmű kapcsolat áll fenn.

Kovács Péter Zoltán egy új, innovatív képlékenyalakító eljárás, az inkrementális lemezalakítás témakörében végzett kutatásai kezdeti eredményeiről számol be. Az eljárás elvi alapjainak és technológiai változatainak áttekintése után elemzi az új eljárással megvalósítható nagyobb mértékű alakíthatóság elméleti alapjait és beszámol az alakíthatóság kísérleti vizsgálatának eredményeiről is.

Monostoriné Hörcsik Renáta cikkében spiroid csigahajtás tányérkerékének mérés-technikai elemzéséről ír. A gépipar területén széles körben alkalmazott csigahajtópárok, fogazó szerszámok csavarfelületeinek tervezése, gyártása és minősítése fontos gyakorlati feladat. E felületek újszerű mérés-technikai elemzését és minősítését ismerteti a közlemény.

Nagy Lajos indítómotorok lehetséges megoldás változatait elemzi hagyományos tervezés módszertani eszközökkel és megállapítja, hogy az elméletileg lehetséges megoldásmező alapvetően három nagy csoportra (hidraulikus, pneumatikus és villamos energiaforrásról vezérelt) indító berendezésekre osztható. A lehetséges változatokat elemezve, különféle döntés előkészítő módszereket alkalmazva választja ki az „életképes” megoldásokat.

E néhány közlemény is jól illusztrálja azt a szerteágazó tudományos kutatómunkát, amely a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola különböző tudomány területein folyik. Doktorandusz hallgatóink színvonalas munkáit jó szívvel ajánlom valamennyi kedves Olvasó figyelmébe.

Miskolc, 2010. május

Prof. Dr. Tisza Miklós

a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola vezetője

A szerkesztésért felelős: dr. Kálmán András. A szerkesztőség címe: 3529 Miskolc, Budai József u. 46.

Telefon/fax: (46) 325-504, 20/9358-812 • e-mail: kaetsa@t-online.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 202-0656, fax: 202-0252, e-mail: ficze.gte@mtesz.hu, internet: www.gte.mtesz.hu

A GÉP Internetcíme: <http://members.chello.hu/cocom/gep/gep-index.htm>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: DR. IGAZ JENŐ ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Tel.: (46) 379-530 E-mail: gazdasz@chello.hu Felelős vezető: Vesza József

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknel, e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 303-3440. További információ: 06 80/444-444

Egy szám ára: 1000 Ft + áfa. Dupla szám ára: 2000 Ft + áfa.

Előfizetés negyedévre: 3000 Ft + áfa, fél évre: 6000 Ft + áfa, egy évre: 12 000 Ft + áfa.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.

Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

A megjelent cikkek lektoráltak.

TARTALOM

1. Bodzás S.; Dudás I.:
Csavarfelületek mérés technikai elemzése3
A csavarfelületek gyártása során a szerszámok kopása, újraélezése, a gépbeállítások korlátozott pontossága a felületek torzulását, alakhibáját okozhatja. A három koordinátás mérési technika kiemelkedő pontossága révén jól használható a tömeggyártásban is.
2. Hajdú S.; Lakatos K.:
Keresztáramú turbinák üzemének néhány sajátossága10
A keresztáramú turbinák lényegi sajátossága, hogy a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő erősen ingadozik, mert a turbinalapát és a közeg közötti kölcsönhatás nem állandó. A cikk bemutatja a belépő sebességi háromszög alakulását és a ciklikusan változó erőket a járókerék fordulatszám és a közegsebesség különböző arányai mellett.
3. Koncsik Zs.; Marosné Berkes M.; Kuzsella L.:
Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai17
Szerzők új fejlesztésű Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozitok tribológiai viselkedésével foglalkoznak. A kutatások fő célja a tribológiai jellemzők és más mechanikai tulajdonságok, illetve a változatos mikroszerkezeti sajátosságok közötti korrelációs kapcsolat vizsgálata volt.
4. Kovács P. Z.; Tisza M.:
Inkrementális lemezalakítás23
A cikk egy EUREKA projekt keretében folyó kutatás, az inkrementális lemezalakító eljárás elemzésével foglalkozik. Az 1967-ben szabadalmaztatott inkrementális alakító eljárások az egyedi és kissorozatú gyártásban számos előnnyel rendelkeznek.
5. Monostoriné Hörcsik R.; Dudás I.:
Spiroid csigahajtás tányérkerékének mérés technikai elemzése31
Szerzők kifejlesztettek egy körasztal alkalmazása nélküli mérési eljárást csavarfelület mérésére, kúpos csigahajtás tányérkeréke esetére. A 3D-s mérés technika alkalmazásával a hagyományos ellenőrzési módszerekhez képest pontosabb eredmény kapható, mivel ez a mérési eljárás teljesen automatizált.
6. Nagy L.; Jakab E.:
Indítómotorok lehetséges megoldásváltozatainak meghatározása hagyományos tervezésmódszertani eszközökkel35
A cikk alapvető célja, hogy bemutassa egy konkrét ipari feladat „hagyományos” tervezés-módszertani eszközökkel történő megoldását. A projekt 2006-ban jött létre, amelynek célja egy új, a technika állásának megfelelő személygépjármű indítómotor fejlesztése és kivitelezése volt.

CSAVARFELÜLETEK MÉRÉSTECHNIKAI ELEMZÉSE

ANALYSIS OF MEASURING TECHNIQUE OF THREAD SURFACES

Bodzás Sándor*, Dr. Dudás Illés**

ABSTRACT

Distortion and shape deviations of helicoid surfaces during machining can occur owing to wear and re-sharpening of the tool employed, together with limited accuracy in the setting of the tool. The geometrical checking methods used for helicoidal surfaces have changed during the years; they have been updated and are now becoming more accurate. The 3 coordination measuring technique is a new and very accurate checking method which may be used in serial production.

1. BEVEZETŐ

A csavarfelületek gyártása során a szerszámok kopása, újraélezése, a gépbeállítások korlátozott pontossága stb. a felületek torzulását, alakhibáját okozhatják. A csavarfelületek geometriai ellenőrzésének módszerei az idők folyamán sokat változtak, korszerűsödtek, egyre tökéletesedve fejlődnek napjainkban is.

A hagyományos geometriai ellenőrzési módszerek alapvető problémája, hogy a csavarfelületeket kétdimenziós, síkbeli alakzatként értékelik és a különböző irányú méretek hibáinak síkbeli hatásait is csak, mint kumulatív hatást veszik figyelembe (pl. osztás tengelymetszetben, profilhiba tengely- vagy a nevezetes metszetben stb.). Ezért is célszerű a csavarfelületek – mint három dimenziós alakzatok – helyes geometriai ellenőrzési módszerének elméleti megalapozása, gyakorlati kivitelének kimunkálása, alkalmazása [5]. Ennek az igénynek kialakulásával esett egybe a számítástechnikának a mérés technikába történő bevonása is, amely létrehozta a koordináta-mérőgépek számítógéppel történő összekapcsolását, így a három koordinátás mérőgépek különböző automatizáltsági szintű típusait is.

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékének laboratóriumában található DEA típusú 3D-s mérőgéppel kifejlesztettünk egy új mérési eljárást, azaz a csavarfelület körasztal nélküli mérését kúpos csiga-tengely esetére.

Ezen eljárással lehetőség nyílik a csavarfelületek előállítás során keletkezett hibák felderítésére (pl.: osztás tengelymetszetben, profilhiba tengely- vagy a nevezetes metszetben stb.) és ezek nagyságának kimutatására.

2. A KOORDINÁTA MÉRŐGÉPRŐL

A koordináta mérőgéppel (1. ábra) a munkadarab felületi pontjai tapinthatók le legtöbbször egyetlen gömbbel a térben rögzített, a mérőgép vezetékei által definiált gépi koordináta - rendszerből kiindulva [3].

Az elmozdulási utakat digitális mérőrendszerrel mérjük. Vagyis a tapintó elem helyzetét a koordináta tengelyek mentén hossz mérő rendszer regisztrálja és ezekből a mérési eredményekből a mindenkori munkadarab felületei számítással határozhatók meg.

A koordináta mérés technika a munkadarabokat 2D és 3D-s felületelemek halmazának tekinti és ezeket az elemeket $i=1,2, \dots, n$ mérési pontokkal helyettesíti a térben [1, 2, 8].

Az analitikus geometria és a numerikus analízis módszerével a mérési pontokra kiegyenlítő görbéket, felületeket fektet a program és ezek paramétereit egymástól való távolságukat, egymáshoz viszonyított helyzetüket, stb. határozzuk meg. Ez az alapelv szinte tetszőleges alakú munkadarab mérését teszi lehetővé [4, 6].



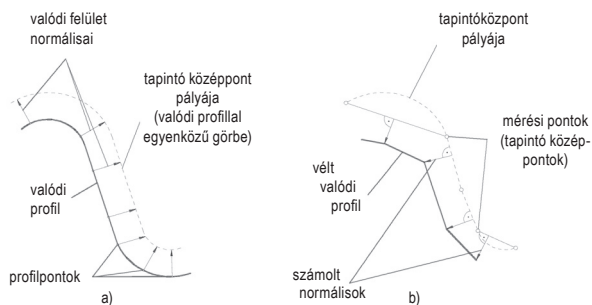
1. ábra – DEA típusú 3 koordinátás mérőgép

A munkadarab helyzetét felületi pontjainak letapogatásával határozzuk meg. Ez esetben a legelterjedtebb

*PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolc, Egyetemváros 3515, sandor.bodzas@uni-miskolc.hu

**témavezető, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolc, Egyetemváros 3515, illes.dudas@uni-miskolc.hu

eljárás a mérendő felület meghatározására az ún. Scanning-technika. Ennek lényege, hogy a mérőfej mozgása csak két koordináta irányában vezérelt, a harmadik koordináta irányában automatikusan beáll a tapintó úgy, hogy követi a felület formáját. A gömbtapintó középpontjának koordinátáit meghatározott osztásonként rögzíti a gép. A gömbtapintó középpontja által leírt felületből a tényleges felület meghatározása csak közelítő jelleggel lehetséges.



2. ábra – Tényleges érintési pont meghatározása [5]

A tényleges felületi pontok közelítő meghatározása a következő:

- a tapintógömb által meghatározott ponthalmazra kiegyenlítő görbéket, illetve kiegyenlítő felületet határozunk meg,
- ezután a kiegyenlítő felület normálvektorai mentén, a felülettől r tapintósugár – távolságra meghatározhatók a tényleges felület pontjai.

Az eljárás közelítő jellege egyrészt a kiegyenlítő felület közelítő jellegéből, másrészt abból fakad, hogy a tényleges érintési pontot ezen felület normálvektorán határozzák meg (2.b ábra), pedig a valódi felület normálvektorán helyezkedik el a tapintógömb középpontja (2.a ábra) [5].

A mérőgép az üzemben a gyártórendszerbe integrálódva rugalmas mérőközpontként működhet.

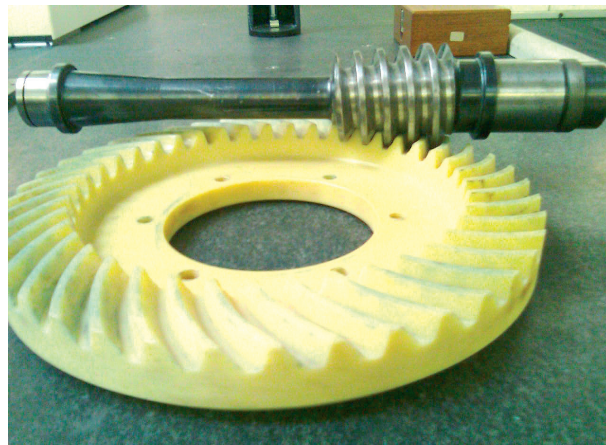
3. KÚPOS CSAVARFELÜLETEK

A műszaki gyakorlatban a sokoldalúan felhasználható kúpos csavarfelületeket legtöbbször kúpos csiga működő felületeként alkalmazzák. A kúpos csiga – tányérkerék párosítású spiroid hajtópár például a robotok, szerszámgépek hézagatlanított hajtásaként előnyösen alkalmazható [4, 7].

A hézagmentes hajtás a csigának egyszerű axiális irányú eltolása (beállítása) révén biztosítható. A spiroid hajtópár (3. ábra) kúpos csigájának fogfelületét hasonló módon lehet származtatni, mint a hengeres csigáét, de a szerszám axiális elmozdulásával egy időben – a csiga kúposágától függő – tangenciális eltolását is biztosítani kell. A vonalfelületű hengeres csigához hasonlóan a spiroid csiga felülete esetén is értelmezhetők a különböző - evolvens, archimedesi és konvolut – csavarfelületek.

A tányérkerék fogazatát a kúpos csiga csavarfelületével azonos burkolófelületű csigamaróval alakítják ki. Ezt közvetlen mozgásleképezésnek nevezzük [4].

Ezekkel a kedvező hidrodinamikai viszonyokkal rendelkező, korszerű, nagy teherbírású és jó hatásfokú hajtópárokkal a hajtóművekben fellépő energiavesztéget jelentősen lehet csökkenteni. A teljesítményvesztés szempontjából nem közömbös ugyanis, hogy a lehetséges fogazatgeometriai jellemzők közül azok kerüljenek alkalmazásra, melyek kedvező kapcsolódási viszonyokat eredményeznek.



3. ábra – Kúpos csigahajtás

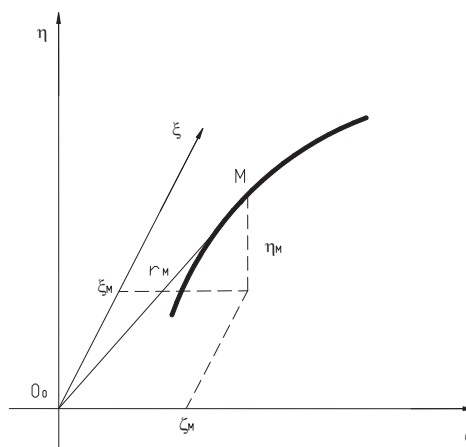
4. KÚPOS CSAVARFELÜLET MÉRÉSTECHNIKÁJÁNAK MATEMATIKAI ISMERTETÉSE

Adott az r_g vezérgörbe a $K_0(\xi, \eta, \zeta)$ szerszámhoz kötött koordináta rendszerben és egyenlete az η koordináta függvényében (4. ábra). Azaz:

$$\vec{r}_g = \vec{r}_g(\eta) \quad (1)$$

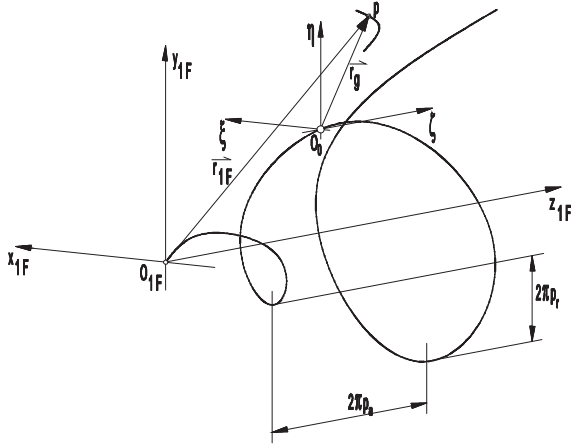
Mivel az η koordinátát tekintjük független változónak, ezért a vezérgörbe egyenlete:

$$\vec{r}_g = \xi(\eta) \cdot \vec{i} + \eta \cdot \vec{j} + \zeta(\eta) \cdot \vec{k} \quad (2)$$



4. ábra – Vezérgörbe a szerszám koordináta rendszerben

Az r_g vezérgörbét hordozó K_0 (ξ, η, ζ) koordináta rendszerrel a z_{1F} tengely mentén p_a axiális paraméterű és az y_{1F} tengely mentén p_r radiális paraméterű csavarmozgást közölve a vezérgörbe egy kúpos csavarfelületet sűröl a K_{1F} (x_{1F}, y_{1F}, z_{1F}) koordináta rendszerben, amely önálló helyzetű és a csavarmozgás közlése előtt egybeesik a K_0 koordináta rendszerrel (5. ábra).



5. ábra

Vezérgörbe által sűrölt kúpos csavarfelület [4]

Az r_g görbe által sűrölt csavarfelület a K_{1F} (x_{1F}, y_{1F}, z_{1F}) koordináta rendszerben:

$$\vec{r}_{1F} = M_{1F,0} \cdot \vec{r}_g \quad (3)$$

ahol:

\vec{r}_{1F} - a csavarfelület futópontjának helyvektora,

$M_{1F,0}$ - a K_0 és K_{1F} koordináta rendszerek közötti transzformációs mátrix.

$$M_{1F,0} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta - \sin \vartheta 0 & 0 \\ \sin \vartheta \cos \vartheta 0 & p_r \cdot \vartheta \\ 0 & 0 & 1 & p_a \cdot \vartheta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

A (3) koordináta transzformációs művelet elvégzésével kapjuk a kúpos csavarfelület egyenletrendszerét:

$$\vec{r}_{1F} = M_{1F,0} \cdot \vec{r}_g = \begin{bmatrix} \cos \vartheta - \sin \vartheta 0 & 0 \\ \sin \vartheta \cos \vartheta 0 & p_r \cdot \vartheta \\ 0 & 0 & 1 & p_a \cdot \vartheta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \xi(\eta) \\ \eta \\ \zeta(\eta) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi(\eta) \cdot \cos \vartheta - \eta \cdot \sin \vartheta \\ \xi(\eta) \cdot \sin \vartheta + \cos \vartheta \cdot \eta + p_r \cdot \vartheta \\ \zeta(\eta) + p_a \cdot \vartheta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A kúpos csavarfelület egyenletrendszere a K_{1F} (x_{1F}, y_{1F}, z_{1F}) álló koordináta rendszerben:

$$\begin{aligned} x_{1F} &= \xi(\eta) \cdot \cos \vartheta - \eta \cdot \sin \vartheta \\ y_{1F} &= \xi(\eta) \cdot \sin \vartheta + \eta \cdot \cos \vartheta + p_r \cdot \vartheta \\ z_{1F} &= \zeta(\eta) + p_a \cdot \vartheta \end{aligned} \quad (6)$$

A kúpos csavarfelület az η és ϑ paraméterek függvénye:

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \quad (7)$$

Ismert tény, hogy egy gömb és egy tetszőleges felület érintkezése esetén a felületnek az érintési pontban vett normálvektora átmegy a gömb középpontján.

Ezt a törvényszerűséget használjuk fel az elméleti csavarfelület és a valódi csavarfelület érintési pontjának meghatározására.

Ehhez ismernünk kell az elméleti csavarfelület normálvektorát:

$$\vec{n} = \frac{\partial \vec{r}_{1F}}{\partial \eta} \times \frac{\partial \vec{r}_{1F}}{\partial \vartheta} = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} & \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} & \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} & \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} & \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Kifejtve a determinánst felírható az \vec{n} vektor az $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ egységvektorok segítségével:

$$\vec{n} = \left(\frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} \right) \cdot \vec{i} - \left(\frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \right) \cdot \vec{k} \quad (9)$$

Ahol:

$$\begin{aligned} n_{1Fx} &= \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} \\ n_{1Fy} &= - \frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial z_{1F}}{\partial \vartheta} + \frac{\partial z_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \\ n_{1Fz} &= \frac{\partial x_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial y_{1F}}{\partial \vartheta} - \frac{\partial y_{1F}}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial x_{1F}}{\partial \vartheta} \end{aligned} \quad (10)$$

Így a normálvektor:

$$\vec{n} = n_{1Fx} \cdot \vec{i} + n_{1Fy} \cdot \vec{j} + n_{1Fz} \cdot \vec{k} \quad (11)$$

Felhasználva azt a tényt, hogy a normálvektor a gömbtapintó r_t (x_b, y_b, z_b) koordinátaival ismert középpontján átmegy, az elméleti csavarfelület érintési pontja meghatározható.

Ezt az r_t (x_b, y_b, z_b) tapintó középponton átmenő \vec{n} normálvektorú egyenes és az elméleti csavarfelület dőféspontja adja, azaz az alábbi két egyenlet együttes megoldása:

$$\left. \begin{aligned} \vec{n}(\vec{r}_t - \vec{r}_{1F}) &= 0 \\ \vec{r}_{1F} &= \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Ahol:

$$\vec{n}(\vec{r}_i - \vec{r}_{IF}) = \begin{bmatrix} n_{IFx} \\ n_{IFy} \\ n_{IFz} \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \xi(\eta) \cdot \cos\vartheta - \eta \cdot \sin\vartheta \\ \xi(\eta) \cdot \sin\vartheta + \eta \cdot \cos\vartheta + p_r \cdot \vartheta \\ \zeta(\eta) + p_a \cdot \vartheta \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (13)$$

A megoldásként kapott η és ϑ paramétereket (6)-ba helyettesítve adódnak az elméleti csavarfelület érintési pontjának x_{IF} , y_{IF} , z_{IF} koordinátái.

A tényleges érintési pont a gömbtapintó felületén helyezkedik el, azaz a tapintó középpontjától r távolságra van. Ez a normális irányú távolság a különböző koordináta irányokba rendre Δx , Δy , Δz vetületi távolságot jelent.

A Δx , Δy , Δz értékek az érintési pont elhelyezkedésétől függően más-más értéket vesznek fel:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{n_x}{|n|} \cdot r \\ \Delta y &= \frac{n_y}{|n|} \cdot r \\ \Delta z &= \frac{n_z}{|n|} \cdot r \end{aligned} \quad (14)$$

Ezek alapján a tényleges érintési pontok meghatározhatók (HELICAM szoftver segítségével), így számíthatók az eltérések az elméleti pontoktól.

5. A MÉRÉS VÉGREHAJTÁSA

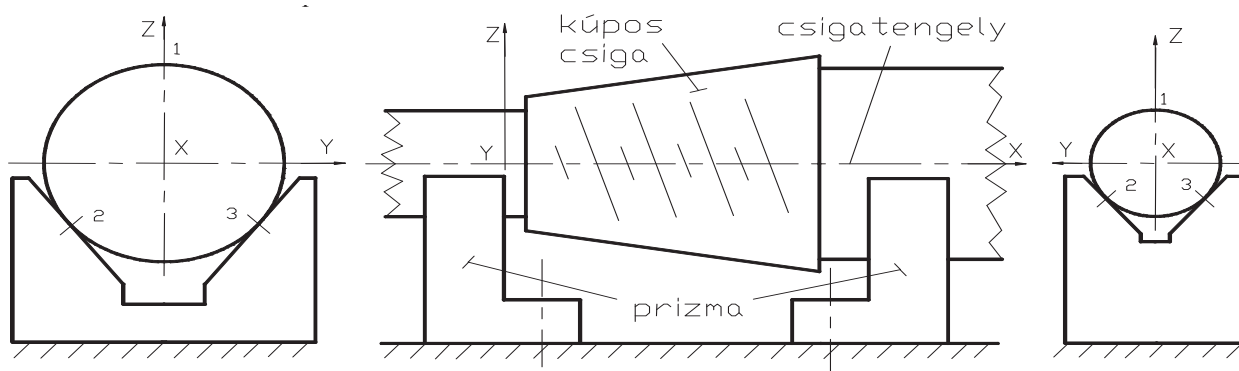
A mérést egy spiroid csigatengelyen végeztük el. A mérési eredmények (kúposság, fogosztás, profilalakhiba) segítségével, illetve az elméleti értékek ismeretében meghatározzuk az eltéréseket és ebből következtünk a csiga minőségére.

5.1. A csiga koordináta rendszerének felvétele

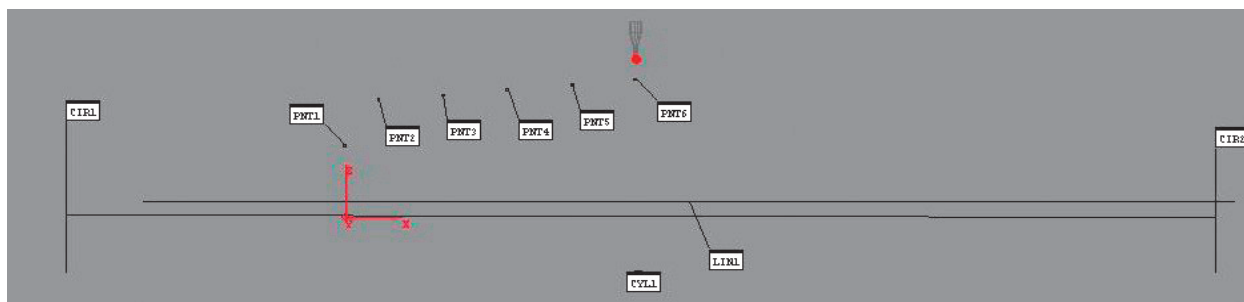
A méréshez a csigatengelyt prizma belfogjuk. A csiga koordináta rendszerének felvételéhez felveszünk 3 pontot a koordináta mérőgép asztalán. A PC-DMIS koordináta mérő szoftver segítségével a 3 pontra egy síkot fektetünk, melyet eltolunk a csiga tengelysíkjaiba. A csiga tengelyvégein felveszünk 3-3 pontot. Ezek a 6. ábrán az 1, 2, 3 pontok. A felvett pontok alapján kört szerkesztünk és a két kör középpontját összekötő egyenes lesz a csigatengely, ami az X tengely. A Z koordináta irányt úgy kapjuk, hogy felveszünk egy tetszőleges pontot a csigán és a tetszőleges pontból az X tengelyre bocsátott merőleges adja a Z irányt. Az Y irány a kapott X és Z koordináta irányokra merőleges irány (6. ábra).

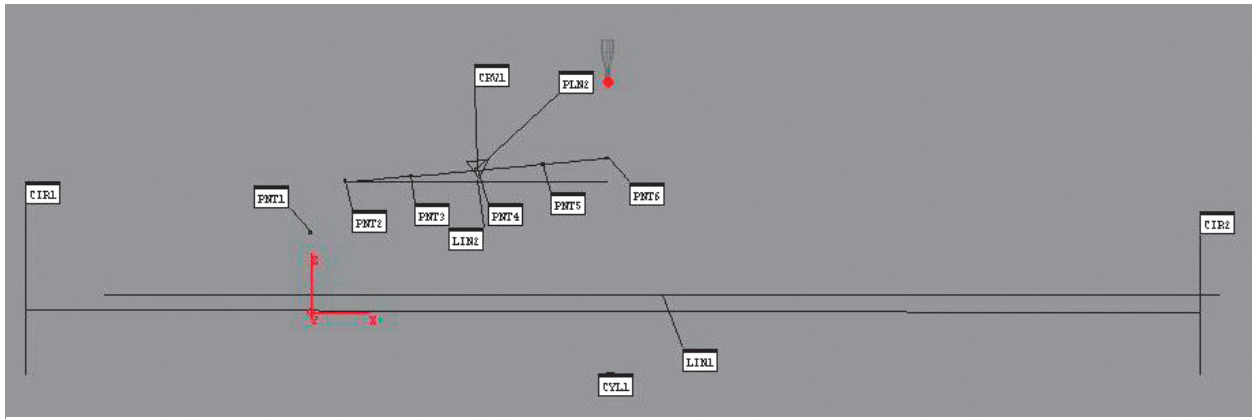
5.2. Kúpszög mérése

Minden egyes fejszalag felületet meg kell érinteni a tapintóval a csigán, úgy, hogy az y értékek rögzítettek. A felvett pontok elméletileg egy egyenesre esnek (7. ábra).



6. ábra – Csigá koordináta rendszerének felvétele

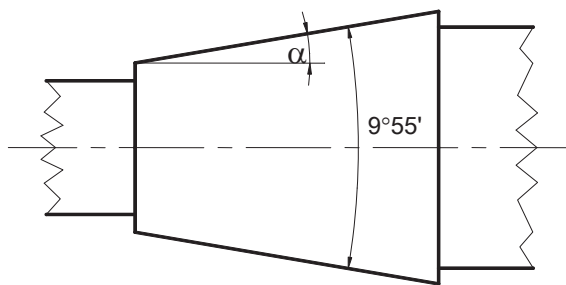




8. ábra – Regressziós egyenes illesztése a mért pontokra

A szoftver segítségével egy regressziós egyenest illesztünk a mért pontokra (PNT2-PNT6) azért, hogy regressziós egyenes és a csigatengely elméleti középvonala által bezárt szöget meghatározzuk (8. ábra). A tényleges szögérték a kapott félnyílásszög (α) kétszerese. A névleges szögértékkel, ami $10^\circ \pm 10'$, összevetve a tényleges szögértéket adódik a hiba nagysága.

Mért kúpszög: $9^\circ 55'$



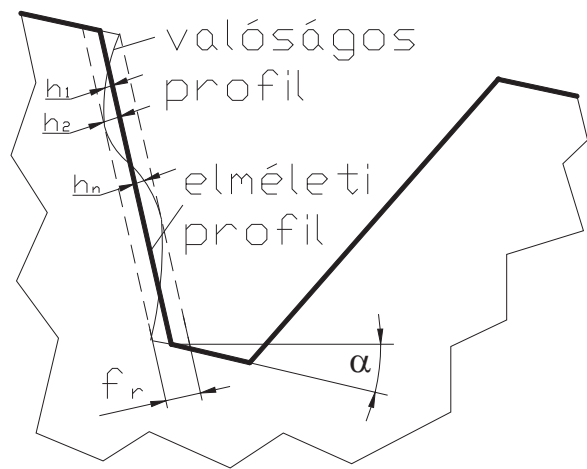
9. ábra – A mért kúpszög és az α felkúpszög

Ezek alapján megállapítható, hogy a mért kúpszög értéke a tűréstartományon belül van. A 7. és a 8. ábrákon a PNT1 pont az a pont, ami a Z tengely felvételéhez szükséges.

5.3. Profilalakhiba mérése

Ismeretes, hogy az ISO 1328 – 1975 szabvány szerint a csiga profilhibája „a valóságos fogprofil adott síkmetsetben a működő profilszakaszon belül szorosan közrefogó két szomszédos névleges profil merőleges távolsága” [7].

Tehát a csigaprofil hibája olyan két elméletileg helyes alakú fogprofil közötti merőleges távolság, amely a csiga valóságos profilját a működő profilszakaszon belül közrefogja (f_r). A vizsgálat elvi alapját a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra – A csigaprofilhiba értelmezése

A profilhiba mérését a csiga főmetszetében a névleges profil síkjában kell elvégezni. Meg kell határozni az elméleti profilnak a valóságos profiltól való eltérését és a különbségüket képezve meghatározható a profilhiba nagysága. Ez különböző h_1, h_2, \dots, h_n eltéréseket jelent. Ezen eltérések átlagolásával meghatározható a közepes eltérés értéke:

$$h_{köz} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} \quad (15)$$

ahol:

$h_{köz}$ – a közepes eltérés nagysága;

h – az eltérés értéke az adott profilpontban;

n – a profil diszkrét pontjainak száma.

A profilhiba nagyságát a maximális (pozitív) és minimális (negatív) eltérések abszolút értékeinek összege adja:

$$f_r = \left| \Delta_{h_{max}}^+ \right| + \left| \Delta_{h_{max}}^- \right| \quad (16)$$

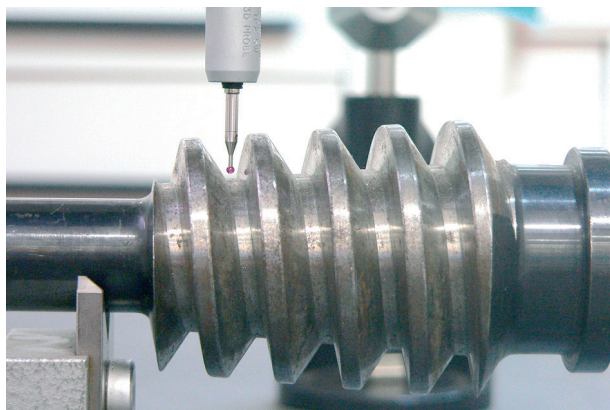
A kapott f_r hibaértéknek kisebbnek kell lennie az f_r profilhiba tűrésénél (MSZ 05.5502-75).

A mérés végrehajtása:

- 1.) Kiválasztjuk a PC-DMIS programban a felületi szkennelés menüpontot.

2.) Megadjuk az alábbi paramétereket:

- a szkennelés kezdőpontját (azaz megadjuk a kezdőpontot tapintással),
- felületi szkennelés irányát (a kezdőpont és egy adott irányban következő pont koordinátáiból képzett irányvektorral, tapintással),
- szkennelés végpontját (azaz az utolsó pontot adjuk meg tapintással) (11., 12. ábra).

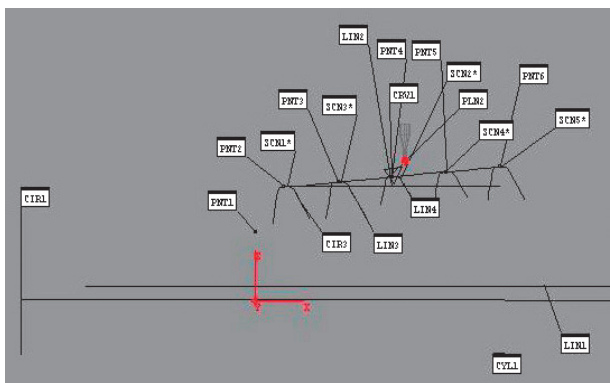


11. ábra – Felületi szkennelés

Elvégeztetjük a mérést, majd az előbbi eljárásához hasonlóan még 4 fogprofilra is elvégeztetjük a szkennelési technológiát. A mért profilokat összevetjük az elméleti profillal.

A PC-DMIS szoftver segítségével kimentettük a kapott pontokat az AutoCAD tervezőszoftver számára kezelhető formátumba, majd a pontok alapján elkészítettük a valós profilokat. Az elméleti profilt is megszerkesztettük az AutoCAD szoftver segítségével és a valós profilokat összehasonlítottuk az elméleti profillal.

Ezek alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált spiroid csiga profiljának eltérése tűréstartományon belül van (IT 6).

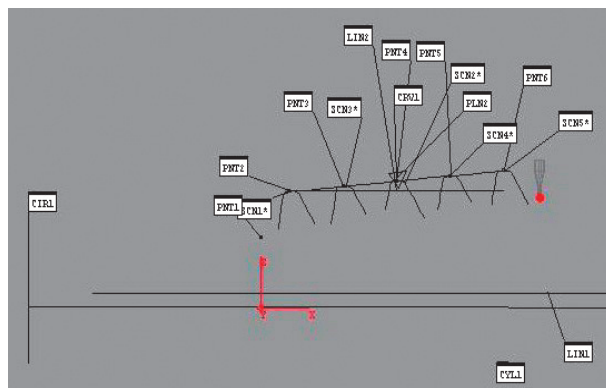


12. ábra – Profilalakhiba mérés

5.4. Fogosztás mérés

A profilalakhiba méréshez hasonló módon elvégezzük a szkennelési technológiát két fogprofilra (13. ábra). Olyan geometria elemet kell illeszteni a profilokra,

amelyek segítségével egyértelműen meg lehet határozni a két profil távolságát. Ez a geometriai elem esetünkben az egyenes. A két egyenes axiális irányú távolságát határozzuk meg. Ez az érték lesz a fogosztás.



13. ábra – Fogosztás mérése

Mért fogosztás: 15,717 mm

Előírt fogosztás: 15,708±0,015 mm

A mért fogosztás értéke a rajzon előírt fogosztás tűréstartományán belül van. Tehát a csiga fogosztása megfelelő.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kifejlesztettünk egy új mérési eljárást, azaz csavarfelület körasztal nélküli mérését kúpos csigatengelyre. Felírtuk a kúpos csavarfelület egyenletrendszerét mátrix geometriai eljárással, majd az elméleti és a valóságos fogprofilok közötti különbségeket. Elvégeztük a spiroid csigatengely kúposságának, profilalakhibájának és fogosztásának a mérés-technikai elemzését. Ez a mérési eljárás alkalmas a csavarfelület minősítésére. A mérőgép az üzemben a gyártórendszerbe integrálódva rugalmas mérőközpontként is működhet.

6. SUMMARY

We developed out a new measuring method, the measuring of thread surfaces without circle desk for conical worm. We defined the equations of the conical thread surfaces with matrix geometry method after the differences between the theoretical and real cog profiles. We carried out the measuring analysis of conicity, error of the profile shape and cog pitch of the spiroid worm. This measuring method is good for the qualification of thread surface. The measuring machine integrated in production system could work as a flexible measuring centre in the factory too.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatómunka a K 63377. sz. OTKA kutatási project támogatásával készült, melynek címe:

„A gyártásgeometria és kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében”.
(Témavezető: Dr. Dudás Illés)

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BÁNYAI K.: Hengeres csigák gyártás- geometriája és ellenőrzése Egyetemi doktori disszertáció, kézirat 1987.
- [2] BODZÁS S. – PUDMER S.: Csiga és Csigakerék mérése 3 koordinátás mérőgéppel, TDK dolgozat, Miskolci Egyetem, 2008. 12. 04.
- [3] BODZÁS S.: „OL-3-as lemezolló csigakerék” gyártásának minőségbiztosítása, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2009, 2009 – GGT39

- [4] DR. DUDÁS I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives. Penton Press, London, 2000. (ISBN 1 8571 8027 5)
- [5] DR. DUDÁS I.: Csigahajtások elmélete és gyártása Budapest, Műszaki könyvkiadó, 2007. (ISBN 978 963 16 6047 0)
- [6] DR. DUDÁS I. – DR. BÁNYAI K. – BAJÁKY, ZS.: Koordináta mérés technika alkalmazása a csavarfelületek minősítésére, VIII. Nemzetközi Szerzőkonferencia Miskolc, 1993.
- [7] HEGYHÁTI, J.: Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben. Diss. A. TU. Dresden, 1988. p. 121.
- [8] HÖRCSIK R.: 3D measurement with two different software, microCAD 2005 Proceedings of International Scientific Conference, Section M1: Production Engineering and Manufacturing Systems, March 10-11. 2005., University of Miskolc, Hungary



2009. június 26. – Évzáró értekezlet



2009. július 5. – EDT



2009. november 23. – Szeminárium



2010. június 7. – Szeminárium



2010. március 12. - Maros Zsolt szigorlat

Si₃N₄/SiC/GRAFIT KERÁMIA KOMPOZITOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

MECHANICAL BEHAVIOUR OF Si₃N₄/SiC/GRAPHITE CERAMIC COMPOSITES

Koncsik Zsuzsanna*, Marosné Berkes Mária**, Kuzsella László***

ABSTRACT

Pin-on-disc tribological tests were performed on Si₃N₄/SiC/graphite ceramic composites with 5 N applied load, at room temperature in dry conditions with a contemporary measurement of the friction coefficient. Tests were completed with microhardness tests (F=10 N) and indentation fracture toughness tests (F=100 N), furthermore morphological analyses of the wear tracks by SEM have been performed. Based on SEM pictures of the wear traces the main damage mechanism could be identified as abrasive wear. For the assessment of the abrasive wear volume the Evans-Marshall lateral crack chipping model was used.

1. BEVEZETÉS

A monolitikus Si₃N₄ kerámia kiváló mechanikai tulajdonságainak köszönhetően számos műszaki alkalmazásban használatos. A Si és a N közötti kovalens kötés miatt a Si₃N₄ kerámiák gyártása nehezen oldható meg szinterelési adalék – Al₂O₃, MgO, Y₂O₃ – nélkül [1]. Ezek az oxidok elősegítik az alapanyag sűrűsödését, a porozitás csökkenését az oldódás–diffúzió–újraakiválás mechanizmusok által, de üvegfázisként megmaradnak a Si₃N₄ szemcsék hátárán, gyengítve ezáltal a mechanikai tulajdonságokat [2].

A szilícium-nitrid alapú kerámiák mechanikai teljesítőképességének javítása érdekében gyakran SiC erősítőfázist adalékolnak az alapmátrixhoz [3, 4, 5, 6, 7]. A SiC hozzáadásának módja eltérő lehet, például Niihara és szerzőtársai [8, 9] Si₃N₄/SiC kerámia nanokompozitokat készítettek Si-C-N porokból kiindulva és vizsgálataik szerint a szinterelés során keletkező kompozitok sokkal jobb mechanikai tulajdonságokat mutattak, mint a monolitikus Si₃N₄ kerámia. A mikroszerkezeti vizsgálatok szerint az alapmátrixban in-situ módon alakultak ki a SiC nanorészecskék, amelyek a mechanikai tulajdonságok javulását eredményezték.

*egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

**témavezető, egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

***egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Polimermérnöki Tanszék

Kerámia mátrixú kompozitokat egyre szélesebb körben használnak kopásnak kitett alkalmazásokban.

Az új anyagtechnológiai fejlesztések eredményeként létrejövő kerámia kompozitok tribológiai viselkedésének vizsgálata éppen ezért napjaink egyik fontos, meghatározó kutatási területe.

A cikk fő témája új fejlesztésű Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozitok tribológiai viselkedésének vizsgálata. A kutatások fő célja volt a tribológiai jellemzők (kopási tényező, kopási mechanizmus, súrlódási együttható) és más mechanikai tulajdonságok (keménység, törési szívósság), illetve a változatos mikroszerkezeti sajátosságok (a másodlagos fázis szemcsemérete és mennyisége) közötti korrelációs kapcsolat vizsgálata.

A tribológiai vizsgálatokat pin-on-disc elvű tribometer alkalmazásával végeztük el, a súrlódási együttható on-line rögzítésével. A kopásvizsgálatokat kiegészítettük hagyományos microVickers-keménység-méréssel, illetve a kopásnyomok morfológiai elemzéséhez pásztázó elektron-mikroszkópot használtunk.

2. KÍSÉRLETI MUNKA

2.1. Kísérleti próbatetek

A kísérleti anyagokat a pozsonyi Szlovák Tudományos Akadémia Szeretlen Kémiai Intézete gyártotta. A gyártásához E10 osztályú Si₃N₄ port használtak, Y₂O₃ szinterelési adalékkal. A kiinduló porkeverék pontos kémiai összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Az alapanyagokat 1750 °C-on melegen sajtolták karbon formába 30 MPa nyomással és 0,2 bar nitrogén túlnyomással [10]. A szinterelés során a grafit részecskék, a szinterelési adalék és az alapanyag között lejátszódott kémiai reakciók számos új fázis kialakulását teszik lehetővé. A vizsgált esetekben többek között intra- és intergranuláris SiC szemcsék képződtek, illetve különféle oxidok, oxi-nitridek és karbo-nitridek keletkeztek. Ezzel a gyártási eljárással tehát in-situ módon erősített Si₃N₄ alapú kerámia kompozit készíthető.

1. táblázat. A próbatetek kémiai összetétele és a sűrűsége

Próbatest	Si ₃ N ₄ [*] [tf%]	Y ₂ O ₃ [tf%]	Grafit		Sűrűség [g/cm ³]
			Tartalom [tf%]	Szemcseméret [μm]	
G1	93,1	4,9	2	< 25	3,246
G2	90,3	4,7	5	< 25	3,239
G3	85,5	4,5	10	< 25	2,494
G4	85,5	4,5	10	< 71	2,822
G5	85,5	4,5	10	<125	3,141
G6	85,5	4,5	10	> 125	3,090

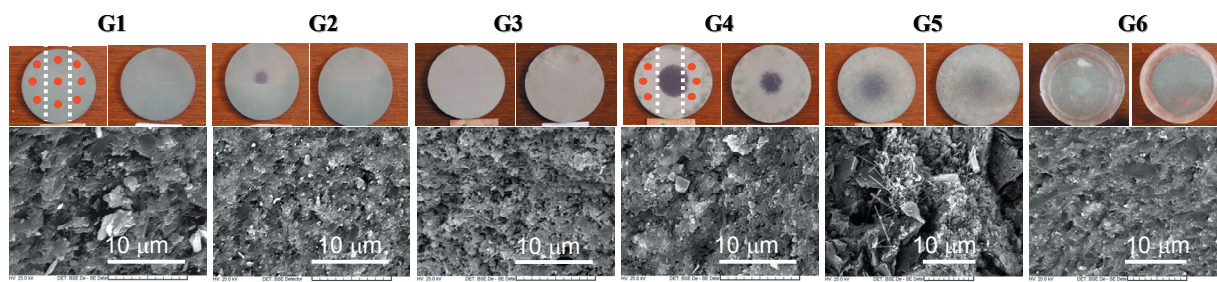
* UBE Industries, Ltd., Japan, SN-E10

Az eredeti tárcsa alakú ($\phi = 47$ mm átmérőjű, $h = 3$ mm magasságú) próbatetek fényképét az 1. ábra mutatja. A tribometer mintatartójának korlátozott méretei miatt a vizsgálati darabokat a G1 és G4 mintákon bemutatott szaggatott vonalak mentén elvágtuk. A G1 és G4 mintákon berajzolt körök a kopásnyomok elhelyezkedését jelzik.

A szinterelést követően néhány próbatest mind az átmérő és a próbatest vastagsága mentén az

1. ábrán bemutatott eltérő, sötétebb színű tartományokat tartalmazott. Ennek oka, hogy a grafitpor egyenletes elkeverése a kiinduló Si₃N₄ por alapanyagban a grafit hidrofób tulajdonságai miatt nehézkes. A G2, G4, G5 mintákon látható fekete foltok reakcióba nem lépett grafit agglomerátumok.

A próbatetek *mikroszerkezetét* a töretfelületeken, a kopásnyomok közelében vizsgáltuk. A vonatkozó anyagszerkezeti felvételek szintén az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. A vizsgált Si₃N₄/SiC / grafit próbatetek szemközi homlokfelületei és mikroszerkezete

A különböző tartományok grafit tartalmát pásztázó elektronmikroszkópos képelemzés segítségével vizsgáltuk, a grafit agglomerátumok területi arányának becslésével. A leginkább inhomogén G4 próbatest belső régiójában a területelemzés ~3,7%-os grafit tartalmat mutatott. A grafit agglomerátumok mérete 1-5 μm között változott, míg a külső régió területelemzése ~0,5% grafit tartalmat jelzett és az agglomerátumok kiterjedése is kisebb, 1-2 μm közötti volt. A G5 minta jellemző százalékos grafit területaránya ~9,4%, a grafit agglomerátumok kiterjedése 40-100 μm között változik, míg a G6 minta ~12,9% grafitot tartalmaz, mely agglomerátumok kiterjedése 100-200 μm között változott. A grafit agglomerátumok területének elemzése révén megállapítható, hogy a kiindulási grafit adalék szemcseméretének növelésével a reakcióba nem lépett grafit agglomerátumok mérete is nő.

A röntgendiffrakciós vizsgálatok nemcsak a szabad grafit jelenlétét, hanem újonnan képződött SiC és SiCN fázisok jelenlétét is bizonyították minden mintában.

A minták inhomogenitásának elemzését és mechanikai tulajdonságra gyakorolt hatását egy korábbi publikáció [11] tartalmazza. A továbbiakban bemutatásra kerülő mechanikai vizsgálatokat a próbatetek homogén területein végeztük el.

A próbatesteket gyémánt pasztával 1 μm végső érdességig polírozták. A minták jellemző érdességi adatait a 2. táblázat tartalmazza, ahol R_z , az 5 legmagasabb és az 5 legmélyebb pont átlaga, R_a , az átlagos érdesség illetve a P mélység az adott, %-ban kifejezett t_p hordozóhossz távolságának értéke a legmagasabb csúcstól mérve.

2. táblázat. Az érdesség és hordozóhossz mélység jellemző értékei

Minta	R _z , μm		R _{as} , μm		P, μm [ha t _p =50%]		P, μm [ha t _p =95%]	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
G1	0,863	0,069	0,125	0,010	0,538	0,101	1,033	0,172
G2	0,836	0,070	0,121	0,005	2,337	1,122	3,438	1,624
G3	1,383	0,124	0,190	0,041	1,643	0,256	2,628	0,326
G4	1,182	0,225	0,155	0,019	0,908	0,440	1,622	0,446
G5	1,722	0,327	0,193	0,045	1,848	0,461	3,347	1,189
G6	2,717	0,457	0,439	0,070	1,583	0,567	3,907	0,691

2.2. Vizsgálati módszerek

A tribológiai vizsgálatokat nagy hőmérsékletű CSM THT-S-AX-0000 pin-on-disc tribometer [12, 13] segítségével végeztünk, a Miskolci Egyetem Polimermérnöki Tanszékén. A vizsgálatok során 6 mm átmérőjű SiC golyó szolgált ellentestként, a terhelőerő 5N volt, a csúszási úthossz 100 m, a kopásnyom sugara 1,2 mm, a kerületi sebesség 0,01 m/s. A méréseket ~50%-os relatív páratartalmú, szobahőmérsékletű levegőn, kenőanyag alkalmazása nélkül, a DIN 50324 szabvány előírásainak megfelelően végeztük [13], három párhuzamos méréssel.

A k , kopási tényező értékének kiszámítása a szabványban [12, 13] rögzített összefüggés alapján, a következő egyenlettel történt:

$$k = \frac{V_w}{L \cdot F_N} \left[\frac{mm^3}{Nm} \right], \quad (1)$$

ahol V_w a kikopott térfogat [mm³], L a teljes csúszási úthossz [m], F_N az alkalmazott normálirányú terhelőerő [N].

A *microVickers keménységet* 10 N terhelőerővel mértük. A lenyomatokat részben az elvágott próbatestek húrja mentén (minden mintán 10-10 lenyomat), illetve a pontosabb értékelés és a lokális információnyerés érdekében a kopásnyomok közepén helyeztük el (próbatestenként 5-5 lenyomat).

A *Vickers lenyomatos törési szívósságot* 100 N terhelőerő alkalmazásával határoztuk meg. Minden próbatesten 10-10 lenyomat alapján a Shetty-féle kiértékelési módszert [14] alkalmazva számítottuk a K_C törési szívósság (2) összefüggés szerinti értékét:

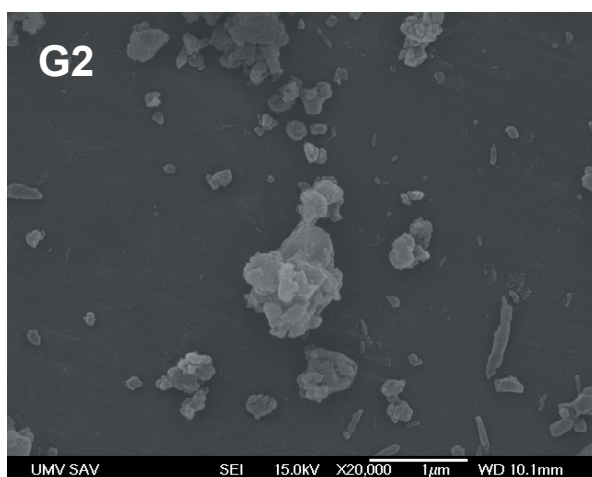
$$K_c = \beta \cdot (HV \cdot F_N)^{1/2} \cdot a^{-1/2} \left[MPa \cdot \sqrt{m} \right], \quad (2)$$

ahol, $\beta = 8,89 \cdot 10^{-2}$ empirikus konstans, HV a *microVickers keménység* érték, és a a lenyomat fél átlójának hossza.

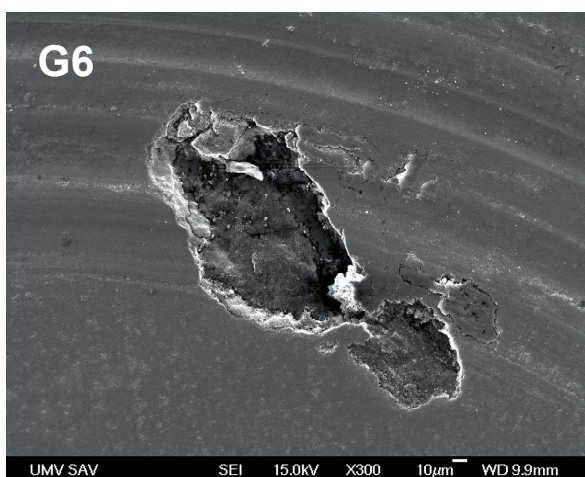
2.3. Vizsgálati eredmények

A tribológiai vizsgálatok legfontosabb eredményeit, azaz a kopási tényezőket, a súrlódási együtthatókat értékét, továbbá a kopási mechanizmusok elemzését a [11,15] munkákban publikáltuk.

A következőkben azokra a tribológiai vizsgálati eredményekre koncentrálunk, ahol abrázív kopási mechanizmussal játszódik le a kopási folyamat. A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a kicsiny, 5 N terhelőerővel végzett vizsgálatok során abrázív kopási mechanizmus uralkodik a száraz csúszósúrlódásban résztvevő felületek között, ahogyan ezt a 2. ábra is bizonyítja.



a)



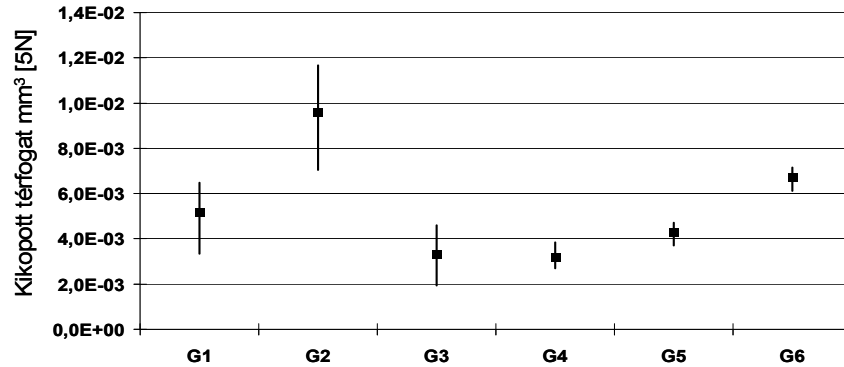
b)

2. ábra. a) Abrázívan kikopott részecskék a G2 minta 5 N-os kopásnyomában
b) Abrázív kitöredezés a G6 szemcse 5 N-os kopásnyomában

A vizsgálat során meghatározott, a 3. ábrán illusztrált kikopott térfogat értékek mind a hat minta esetében a gyenge kopás tartományába esnek ($V_w = 10^{-2} - 10^{-3} \text{ mm}^3$) [16]. Összehasonlítva a G1-G3 mintákat, amelyek ugyanolyan szemcseméretű, de eltérő mennyiségű kiindulási grafit adalékot tartalmaznak, a kikopott térfogat kismértékű csökkenését tapasztaljuk a grafit mennyiségének növekedésével.

A G2 minta eltérő viselkedést mutat, ezen a mintán kapott kísérleti eredmények nem illenek az előbb említett tendenciába.

A G3-G6 minta megegyező tartalmú, de eltérő szemcseméretű grafit adalékot tartalmaz. A kopásvizsgálatok azt bizonyították, hogy a kiinduláskor adalékolt grafit szemcseméretének növekedésével fokozatosan növekszik a kikopott térfogat értéke is.



Grafit	tartalom [%]	2	5	10	10	10	10
	szemcseméret [μm]	< 25	< 25	< 25	< 71	< 125	< 125
sűrűség [g/cm ³]		3.25	3.24	2.49	2.82	3.14	3.09

3. ábra. Az abrazív módon kikopott térfogat értékei a kémiai összetétel függvényében

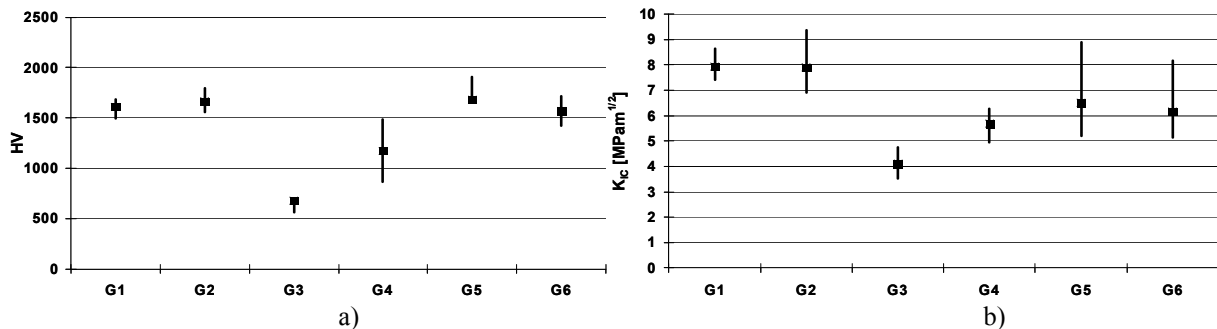
Az átlagos keménység értékei (ld. 4. ábra a) ábrarészlete) a G3 minta esetében a HVM 600-700 tartományba, a G4 minta eseté a HVM1100-1300 tartományba míg a G1, G2, G5, G6 minták esetében a HVM1500-1800 tartományba esnek.

Az Vickers lenyomatos törési szívósság átlagos értékei 4-8 MPam^{1/2} intervallumban változtak, amely megfelel a Si₃N₄ alapú kerámiák szokásos szívóssági értékének. Az egyes mintákra kapott adatokat a 4. ábra b) részlete mutatja. A törési szívósság változása az egyes próbatesteken hasonló tendenciát mutat, mint a keménységméréssel kapott eredmények.

A legmagasabb törési szívósság értékeket a G1 és G2 minták esetében mértük, a kisebb értékek pedig a nagyobb kiterjedésű szabad grafit agglomerátumokat tartalmazó próbákon fordultak elő.

A keménységi értékekhez hasonlóan a legkisebb törési szívósság értéket a G3 mintán mértük.

Az új anyagtechnológiai fejlesztésű Si₃N₄/SiC/grafit kompozitokon elvégzett mechanikai vizsgálatok célja nemcsak a vizsgált kerámia anyag szokásos szilárdsági jellemezése volt, hanem az ilyen anyagokra jellemző kopásnak kitett alkalmazásban nyújtott teljesítőképesség vizsgálata is.



4. ábra. a) A G1-G6 minták microVickers keménység értékei (10 N)
b) A G1-G6 minták Vickers-lenyomatos törési szívósság értékei (100 N)

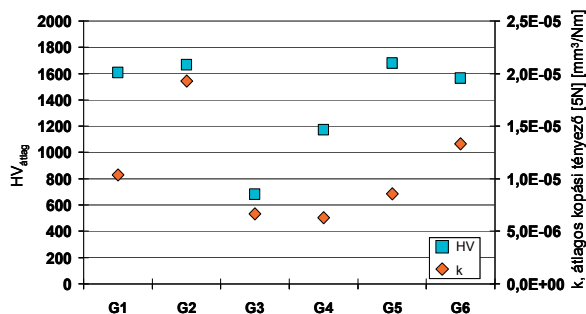
A kopás egy olyan összetett folyamat, amelyre számos befolyásoló tényező hat (érintkezési geometria, felületi

éresség, mikroszerkezet, törési szívósság, vizsgálati sebesség, terhelés, páratartalom, hőmérséklet, stb.). Jelen

kutatómunka fő célja, és hosszú távú célkitűzése egy olyan matematikai modell megalkotása, amely alkalmas a kerámia kompozit kopási viselkedésének becslésére és figyelembe veszi a legfőbb befolyásoló tényezőket.

3. A KOPÁSI VISELKEDÉS BECSLÉSE

A fémek abrazív kopása során Archard-törvényét [17] széles körben használják a kopás mértékének becslésére. Archard elméletében az anyag keménysége egyenesen arányos a kopási tényezővel. A vizsgált kerámia kompozit esetében viszont — az 5. ábrán bemutatott eredmények alapján — nincs ilyen egyértelmű korreláció a kopási tényező és a microVickers keménységértékek között, sőt a tapasztalatok szerint [18] a keménység növelése a kopási ellenállás csökkenését is okozhatja, mivel ez a ridegtörés mértékének felerősödéséhez és — az uralkodó kopási mechanizmustól függően — növekvő anyagleváláshoz vezethet. A kerámiák esetében feltehetően más anyagi sajátosságok, például törési szívósság, Young-modulus, stb. is jelentősen befolyásolják a kopási folyamatot.



5. ábra. Korreláció az átlagos microVickers keménység és az átlagos kopási tényező között

A műszaki kerámiák abrazív kopásának becslésekor a legtöbb szakirodalomban publikált modell speciálisan csak egy adott tribológiai rendszer esetére, azaz meghatározott anyagú, geometriájú és mozgásviszonyú érintkező felületek között lejátszódó kölcsönhatás jellemzésére irányul. Ezért alkalmazhatóságuk nem terjed ki széleskörűen minden anyagpárra. Ebből következik, hogy a kerámiák kopásának vizsgálatok többnyire az adott anyagra/anyagpárra vonatkozó kísérleti eredményekkel jellemzik a kopás várható mértékét, és kevésbé alkalmazzák a matematikai modellek segítségével történő becslést [16].

Evans [19] javasolta először a műszaki kerámiák kopásának becslését a laterális repedés modell használatával, amelyet különösen forgácsolási célú felhasználáskor hasznosíthatunk. Megalkotott egy összefüggést a laterális repedések kiterjesztésével az anyagleválás modellezése érdekében, nagy nyomófeszültség esetére, a következő módon:

$$V_w = c \cdot \frac{F_N^{5/4}}{K_c^{3/4} \cdot HV^{1/2}} \cdot L, \quad [mm^3], \quad (3)$$

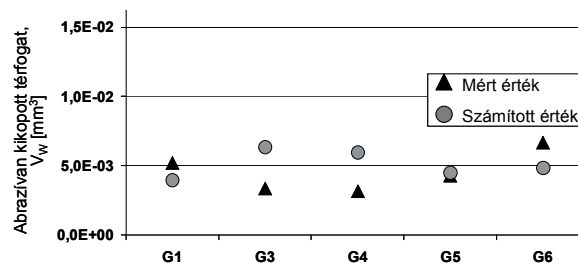
ahol c az adott kopási rendszerre meghatározható konstans, F_N a normál irányú terhelőerő N-ban, K_c a Vickers

lenyomatos törési szívósság MPa·m^{1/2}-ben, HV a Vickers keménység, L a kopási úthossz m-ben.

A Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozit abrazív módon kikopott térfogatának becslésére a 3. egyenletet használtuk fel, amely kapcsolatot teremt a terhelőerő, a törési szívósság és az vizsgált kerámia keménysége között. A kopási rendszer viselkedését befolyásoló egyéb tényezők hatását — pl. az ellentest merevsége, geometriája — amelyet az összefüggés explicit módon nem vesz figyelembe, a c rendszerkonstans tartalmazza. Ennek értéke a vizsgált esetekre $c=10^{-3}$ -ra adódott.

A 3. egyenlettel becsült értékek összehasonlítva a kísérletek során mért értékekkel, jó közelítést adtak az abrazív módon kikopott térfogat becslésére, ahogyan azt a 6. ábra illusztrálja. A becslés során a kísérleti eredmények szerint is eltérően viselkedő G2-es mintát figyelmen kívül hagytuk.

Ez a kopási modell első közelítésben megfelelő közelítést ad (4±25% eltérés a mért és számított értékek között) a G1, G5, G6 minták esetében. A modell további pontosításához azonban újabb paramétereket — rugalmassági modulus, szilárdsági jellemzők, mikroszerkezeti sajátosságok, porozitás — is be kell vonni a matematikai modellbe, amelyek a kopási rendszer károsodását befolyásolják. A modell pontosítása után feltehetően a G3, G4 próbatestek esetében is jobb közelítési eredményt kapunk.



6. ábra. Mért és számított abrazívan kikopott térfogat értékek

Ezekben az esetekben további vizsgálatok szükségesek annak megállapítására, hogy ezek a sajátosságok milyen módon vehetők figyelembe a modellben. Megállapíthatjuk, hogy az Evans és Marshall által megalkotott laterális repedés modell jó közelítéssel alkalmazható a vizsgált szilícium-nitrid alapú kerámia kompozitokra is.

4. ÖSSZEGZÉS

Tribológiai, keménység és Vickers-nyomatos törési szívósság vizsgálatokat végeztünk Si₃N₄/SiC/grafit kerámia kompozitokon. Az elvégzett mechanikai vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a kapott mérőszámok között meghatározható kapcsolat áll fenn a műszaki kerámiák esetében is, amelyek alapján az alábbi megállapítások tehetők:

A kikopott térfogat, keménység és a törési szívósság közötti kapcsolat tekintetében:

- Archard-törvénye nem érvényesül a kerámiák abrazív kopása esetében;

- A kerámia nagyobb keménysége nem előnyös a kopási tényező szempontjából;
- A törési szívósság szerepe kerámiáknál jelentős, ezért nem hagyható figyelmen kívül a kopási károsodás becslésekor, abrazív kopás során a vizsgált kerámia kompozitok esetén fordított arányban áll a kikopott térfogattal;

Az „Evans-Marshall” összefüggés Si_3N_4 kerámia kompozitok esetében is alkalmazható az abrazív kopási folyamat során kikopott anyagtérfogat számszerű becslésére. A pontosabb becslés érdekében más jellemzők bevonása a matematikai modellbe indokolt, ahogyan az Hornbogen-törvényében is megjelenik [18]. A keménység és a törési szívósság mellett a rugalmassági modulus, hajlítási modulus, mikroszerkezeti jellemzők és az anyag kémiai összetétele is jelentős szerepet játszik a kopási viselkedésben, ezen mennyiségek számszerű megjelenítése indokolt a matematikai modellekben.

A mechanikai tulajdonságokon kívül az érintkező felületek jellemzőit is célszerű figyelembe venni a modellalkotás során. A 2. táblázat és a kopási folyamat jellemzésére szolgáló paraméterek összehasonlításából megállapítható, hogy szorosabb összefüggést tapasztalunk a hordozóhossz és a kikopott térfogat értékek között, mint az általánosan használatos átlagos érdesség és kikopott térfogat között.

A tribológiai vizsgálatok során a terhelőerő növelésével más uralkodó kopási mechanizmusok jelennek meg az abrazív kopás helyett. A kísérleti munka következő fázisa $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /grafit kerámia kompozitok képlékeny alakváltozás által kontrollált kopási mechanizmusainak tanulmányozására, és számszerű becslésére irányul.

5. SUMMARY

-Tribological, microVickers hardness and Vickers indentation fracture toughness measurements were carried out on $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /graphite ceramic composites. The results of these mechanical tests showed that the wear volume is influenced by both the hardness and toughness of the material in case of ceramics. Based on the experimental observations the following establishments can be taken relating to the connection between the wear volume, hardness and fracture toughness values:

– Archard’s-law, even its modified versions – due to involving only one material characteristic, i.e. hardness – does not hold in case of ceramics;

– Higher hardness is not advantageous from the viewpoint of wear rate in case of abrasive wear of the tested materials;

– The role of fracture toughness in case of ceramics is significant. During numerical prediction of the abrasive wear volume its effect can not be neglected. The wear volume is inversely proportional to the K_{Ic} fracture toughness, that is supported e.g. by the Evans–Marshall equation.

According to our test results for calculating the abrasive wear volume of Si_3N_4 ceramic composites the Evans–Marshall model can be adopted, too

For a more accurate estimation other parameters – for instance the Young’s modulus, bending strength, different microstructural features and chemical composition of the material, furthermore properties of the contacting surfaces – are suggested to be incorporated into the mathematical model, as it appears in Hornbogen’s-law [18].

Scanning electron microscopic investigations of the wear traces of the tested $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /graphite ceramic composites revealed that increasing the applied load other controlling wear mechanism – e.g. plastic flow – can appear beside the abrasive wear. The future research work aims at modelling the wear process of some newly developed $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /graphite ceramic composites in order to predict the wear rate in case of deformation controlled wear process, too.

6. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] GRESKOVICH C, ROSOLOWSKI JH.: J. Am. Ceram. Soc. 1976;59:pp336-343.
- [2] LANGE FF: J. Am. Ceram. Soc. 1974; 57: pp84-87.
- [3] P. ŠAJGALÍK, M. HNATKO, F. LOFAJ, P. HVIZDOŠ, J. DUSZA, P. WARBICHLER, F. HOFER, R. RIEDEL, E. LECOMTE, M. J. HOFFMANN: J. Eur. Ceram. Soc. Volume 20, Issue 4, April 2000, pp453-462.
- [4] M. HNATKO, D. GALUSEK, P. ŠAJGALÍK: J. Eur. Ceram. Soc., Volume 24, Issue 2, 2004. pp189-195. 8th International Conference on Ceramic Processing
- [5] A. JALOWIECKI, J. BILL, M. FRIESS, J. MAYER, F. ALDINGER, R. RIEDEL: Nanostructured Materials, Volume 6, Issues 1-4, 1995, pp 279-282.
- [6] KINEMUCHI, T. YANAI, K. ISHIZAKI: Nanostructured Materials, Volume 9, Issues 1-8, 1997, pp 23-32.
- [7] W. DREBLER, A. GREINER, M. SEHER, R. RIEDEL: Nanostructured Materials, Vol. 6, Issues 1-4, 1995, pp 481-484.
- [8] NIIHARA K, IZAKI K, KAWAKAMI T. J. Mat. Sci. Lett. 1990; 10: 112-114.
- [9] HIRANO T, NIIHARA K. Materials Lett. 1995; 22:249-254.
- [10] M. KAŠIAROVÁ, E. RUDNAYOVÁ, J. DUSZA, M. HNATKO, P. ŠAJGALÍK, A. MERSTALLINGER, L. KUZSELLA: Some tribological properties of a carbon-derived $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ nanocomposite, Journal of the European Ceramic Society, 24 (2004) 3431-3435
- [11] ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA: Tribological Investigation of Si_3N_4 composites; Friction, Wear and Wear Protection, ISBN 978-3-527-32366-1, Wiley-VCH, pp: 393-401. 2009.
- [12] I. M. HUTCHINGS: Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Edward Arnold (Hodder Headline PLC), 1992. ISBN 0-340-56184-X
- [13] Tribologie, Prüfung von Reibung und Verschleiß, DIN 50 324, 1992.
- [14] D.K. SHETTY; I.G. WRIGHT; P. N. MINCER; A. H. CLAUER: Indentation fracture of WC-Co cermets; Journal of Material Science 20 (1985) p. 1873-1882.
- [15] ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA: Tribological behaviour of C-derived Si_3N_4 nanocomposites, Mat. Sci. For. Vol. 589. ISBN 0-87849-371-9, Trans Tech Publications, pp:403-408. 2008.
- [16] S. M. HSU; M. SHEN: Wear prediction of ceramics; Wear 256; 2003. pp: 867-878
- [17] J. F. ARCHARD: Contact and rubbing of flat surfaces Journal of Applied Physics, (1953) pp981-988
- [18] E. HORNBOGEN: The role of fracture toughness in the wear of metals, Wear, 33. 1975. pp: 251-259
- [19] A. G. EVANS; D. B. MARSHALL: Wear mechanisms in ceramics, in: Fundamentals of Friction and Wear of Materials; American Society of Metals, Metals Park, OH, 1980. p:439

KERESZTÁRAMÚ TURBINÁK ÜZEMÉNEK NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA

SOME PROPERTIES OF WORKING CROSS-FLOW TURBINES

Hajdú Sándor*, Dr. Phd Lakatos Károly**

ABSTRACT

A characteristic feature of cross-flow turbines is a strong fluctuation in the circumferential force that generates axle power, because the interaction between the blades and the medium is not constant. Due to this varying interaction, the force that occurs on one blade (and its tangential component) fluctuate cyclically as the blade changes its position. This paper explains the evolution of the inlet velocity triangle and the cyclically varying forces, assuming different ratios of rotational speed and flow velocity.

ÖSSZEFOGLALÁS

A keresztáramú turbinák lényegi sajátossága, hogy a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő erősen ingadozik, mert a turbinalapát és a közeg közötti kölcsönhatás nem állandó. E változó kölcsönhatás miatt a kerék egy lapátján fellépő eredő erő (és annak tangenciális összetevője) a lapát pozíciójának függvényében ciklikusan ingadozik. A cikk bemutatja a belépő sebességi háromszög alakulását és a forgás miatt ciklikusan változó erőket a járókerék fordulatszám és a közegsebesség különböző arányai mellett.

1. BEVEZETÉS

A keresztáramú turbinák előfutára a Bánki-turbina volt, ezzel a géppel kapcsolatosan sok publikáció született a közelmúltban is [4], [5]. Az igazi keresztáramú turbinákat egyelőre nem alkalmazzák széles körben, a publikációk száma is csekély. Az egyszerű konstrukció következtében azonban várható az ilyen rendszerű energia-konverterek elterjedése, ahogyan a megújuló energiaforrások kiaknázása egyre növekvő mértékűvé válik. Ez indokolja a témaválasztást. A téma aktualitását növeli az a körülmény is, hogy a keresztáramú turbinákkal a hazai irodalom egyelőre csak szórványosan foglalkozik.

* tudományos főmunkatárs, doktorandusz a ME-en. Közlekedéstudományi Intézet, 1119 Budapest Thán Károly u. 3-5. Telefon +36 1/371 5844, e-mail: Hajdu@kti.hu

** témavezető, egyetemi docens, Miskolci Egyetem Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

A cikkben a keresztáramú turbina működéséről kívánunk bevezető jelleggel képet adni a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő és a belépő sebességi háromszög jellemzői közötti kapcsolat elemzésével.

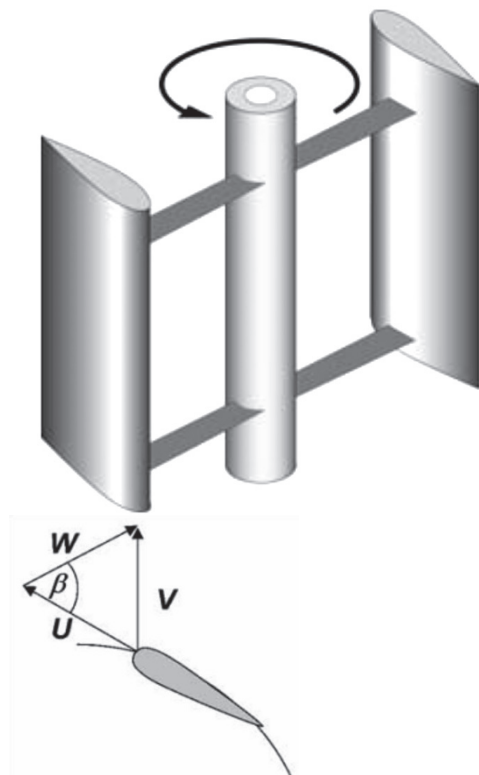
A keresztáramú turbinák lényegi sajátossága, hogy üzem közben a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő ingadozik, mert a turbinalapát és a közeg közötti kölcsönhatás nem állandó.

A járókerék fordulatszámának a függvényében változó kerületi sebesség és a közegsebesség különböző arányai (λ) mellett a belépő sebességi háromszög és így a kerületi erő a lapát egy adott helyzetében (a θ elfordulási szög értéke rögzített) lényegesen változik. A járókerék forgása következtében azonban a kerületi erő a λ paraméter állandó értéke mellett is a különböző lapáthelyzetekben más és más értékű. A változó kölcsönhatás miatt a járókerék egy lapátján fellépő eredő erő (és annak tangenciális összetevője) a lapát pozíciójának a függvényében tehát ciklikusan változik, és az erő értéke érzékenyen függ a λ paraméter értékétől is.

A geometriai összefüggéseket a belépő sebességi háromszög forgás miatt ciklikusan változó paramétereinek felhasználásával jellemezzük, és erre alapozva tekintjük át a forgás miatt ciklikusan változó erőket. Az alkalmazott síkbeli (2D) számítási modell a lehető legegyszerűbb, mivel az elemzés során a tendenciák feltárása a célunk.

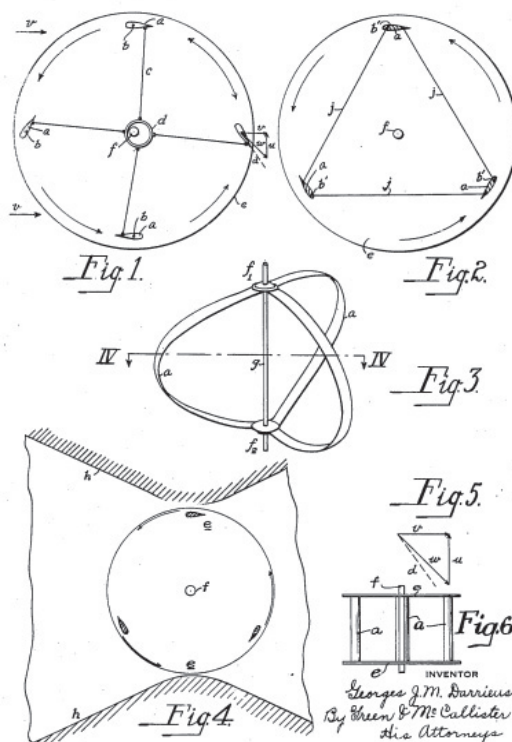
2. A KERESZTÁRAMÚ TURBINA

A keresztáramú turbina (Darrieus-turbina) járókereke szabadon áll az áramló közegben, nincs az áramlást terelő járókerékház, vagy egyéb kiegészítő szerkezet, ami a működéshez szükséges lenne. A konstrukció egyszerű. A munkaközeg egyaránt lehet levegő és víz. A keresztáramú turbina névadója a feltaláló: Georges Jean Marie Darrieus (Franciaország). A turbinára vonatkozó szabadalma [1] 1931-ben az Egyesült államokban került bejegyzésre (1.a.b. ábra). Pusztán az áttekinthetőség biztosítására az 1.a. ábrán a sematikus vázlat kétlapátos konstrukciót mutat. Ennek azonban elvi jelentősége nincs. Legalább egy lapátnak lennie kell természetesen, és négy-nél több lapátot gyakorlati megfontolások miatt nem alkalmaznak. A lapátok száma a működés jellemzőire van hatással (pl. indíthatóság felporgetés nélkül).



a

1. a. ábra. A keresztáramú turbina vázlatja és a belépő sebességi háromszög



b

1. b. ábra. A keresztáramú turbina vázlatja Darrieus szabadalmából

3. JELÖLÉSEK

- C_x : ellenállás tényező [-]
 C_y : felhajtóerő tényező [-]
 F_y : felhajtóerő [N]
 F_x : ellenállás [N]
 v : abszolút sebesség (pl. szélesség) [m/s]
 w : relatív sebesség [m/s]
 u : kerületi sebesség [m/s]
 α : a kerületi- és az abszolút sebesség iránya által bezárt szög [-]
 β : a kerületi- és a relatív sebesség iránya által bezárt szög [-]
 θ : az elforduló járókerék pozícióját jellemző szög (elfordulási szög) [-]
 λ : sebességtényező ($\lambda = u / v$) [-]
 δ : megfűvási szög (a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt szög) [-]

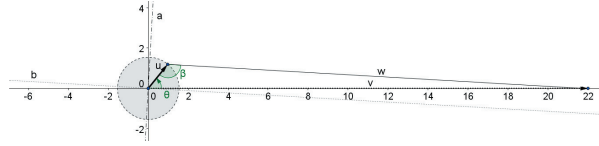
4. A BELÉPŐ SEBESSÉGI HÁROMSZÖG ALAKULÁSA A λ SEBESSÉGPARAMÉTER JELLEGZETES TARTOMÁNYAIBAN

A belépő sebességi háromszög ábrázolására bevezetjük azt a konvenciót, hogy a kerületi sebességvektort önmagával párhuzamosan eltoljuk a járókerék tengelyvonalába úgy, hogy a vektor kezdőpontja essen a tengelyvonalra. Ekkor a járókerék elfordulási szögének (θ) a függvényében egy forgó vektor felel meg a kerületi sebesség vektorának. A közegsebesség vektora (v) állandó értékű ($v = \text{const.}$), és a tengelykereszt origójából indul a $\theta = 0$ által meghatározott irányba, amely legyen a tengelykereszt vízszintes ága. Amennyiben feltesszük, hogy a lapáthúr párhuzamos a kerületi sebességgel, akkor az imént rögzített konvenció szerint a sebességi háromszög ábráján a lapátot úgy lehet elképzelni, hogy a kilépés felől a belépés felé irányítottan gondolt lapáthúr egybeesik az u vektor irányával, a belépésnél lévő végpontja pedig az u vektor végpontjával. A sebességi háromszög ábráján feltüntetjük még a relatív sebességgel (w) párhuzamos ellenállás- és az arra merőleges felhajtóerő irányát is. A szövegben a vektor irányán azt az egyenest értjük, amelyben a vektor benne fekszik, a vektor irányítása (értelme) pedig a vektor kezdő és végpontjának az elhelyezkedésétől függ.

4.1. A sebességparaméter értéke kisebb, mint 1 ($\lambda < 1$)

Ez az eset pl. a turbina indulását követően áll elő. A közegsebességhez képest a kerületi sebesség kicsi, mivel a fordulatszám is alacsony.

Egy igen alacsony $\lambda = u/w$ sebességparaméter érték mellett a szerkesztett sebességi háromszöget a 2. ábrán mutatjuk be.



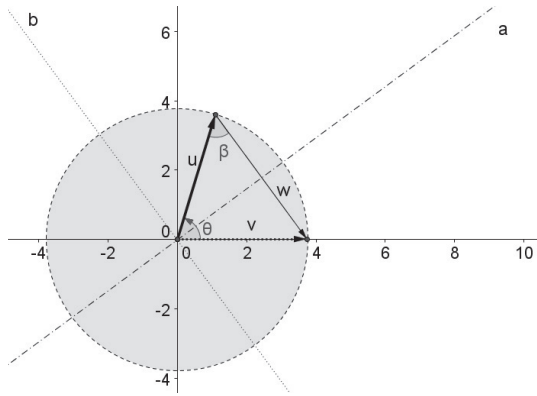
2. ábra. A belépő sebességi háromszög $\lambda < 1$ esetén „a” egyenes: w irányára merőleges (a felhajtóerő iránya)
„b” egyenes: w irányával párhuzamos (az ellenállás iránya) a szürke területtel jelzett kör sugara:
 u (kerületi sebesség)

A 2. ábra közvetlenül szemlélteti, hogy a v közegsebesség nagysága és iránya közel azonos a relatív sebesség nagyságával és irányával a lapát teljes körbefordulása során. Ennek megfelelően a lapát megfűvási iránya drasztikusan, közel 360° értékkel változik a lapát körbefordulása során. A kerületi erő is drasztikusan változik az elfordulással, akár előjelet is vált, de az értéke igen kicsi marad.

4.2. A sebességparaméter értéke egységnyi ($\lambda = 1$)

A közegsebesség és a kerületi sebesség azonos, a fordulatszám a működés lehetséges tartományán belül nő, de még mindig csak a közepes zónában található.

A $\lambda = u/w = 1$ sebességparaméter érték mellett a szerkesztett sebességi háromszöget a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra. A belépő sebességi háromszög $\lambda = 1$ esetén „a” egyenes: w irányára merőleges (a felhajtóerő iránya)
„b” egyenes: w irányával párhuzamos (az ellenállás iránya) a szürke területtel jelzett kör sugara:
 u (kerületi sebesség)

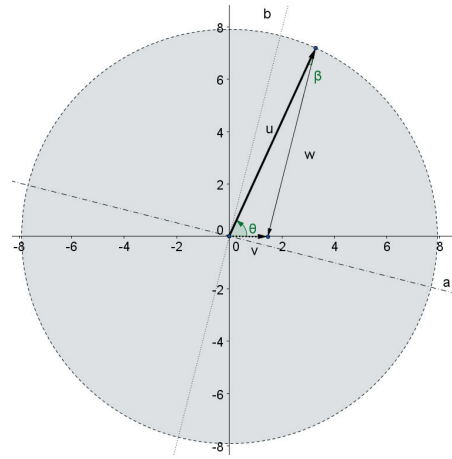
A 3. ábrán jól követhető, hogy a közegsebesség iránya és nagysága jelentősen eltér a relatív sebesség irányától és nagyságától a lapát teljes körbefordulása során. A relatív sebesség nagysága $w = 0$ és $w = 2 \cdot v$ között ingadozik.

Ennek megfelelően a lapát megfűvási iránya még mindig jelentős értékkel változik a lapát körbefordulása során, de ez már 180° alatt marad. A kerületi erő ez esetben is drasztikusan változik az elfordulással, előjelváltás is bekövetkezik, azonban a kerületi erő átlagos értéke a lehetséges tartományon belül továbbra is kicsi marad.

4.3. A sebességparaméter értéke nagyobb, mint 1 ($\lambda > 1$)

A közegsebesség lényegesen kisebb, mint a kerületi sebesség, a fordulatszám a működés lehetséges tartományán belül magas.

A $\lambda = u/w$ sebességparaméter 1-nél jóval nagyobb értéke mellett a szerkesztett sebességi háromszöget a 4. ábrán mutatjuk be.



4. ábra. A belépő sebességi háromszög $\lambda > 1$ esetén „a” egyenes: w irányára merőleges (a felhajtóerő iránya)
„b” egyenes: w irányával párhuzamos (az ellenállás iránya) a szürke területtel jelzett kör sugara:
 u (kerületi sebesség)

A 4. ábrán a felpörgött keresztáramú turbina belépő sebességi háromszögére jellemző arányok figyelhetőek meg. A kerületi sebesség iránya és nagysága a relatív sebesség irányától és nagyságától a lapát teljes körbefordulása során csak kicsit tér el. Ennek megfelelően a lapát megfűvási iránya csak kis értékkel változik a lapát körbefordulása során. A kerületi erő továbbra is változik az elfordulással, előjelváltás is bekövetkezhet, de az erő átlagos értéke és a csúcserő értéke a lehetséges tartományon belül a korábbi két esethez képest magas.

A továbbiakban bemutatjuk azt a leegyszerűsített számítási modellt, amely már alkalmas a kerületi erő alakulásának az elemzésére.

5. A KERÜLETI ERŐT LEÍRÓ EGYSZERŰSÍTETT ÖSSZEFÜGGÉSEK

A kerületi erő (1. táblázat) a θ szög függvényében periodikusan változik, emellett a felhajtóerő- és ellenállástényezők keresztül a megfűvás irányától (δ) is függ.

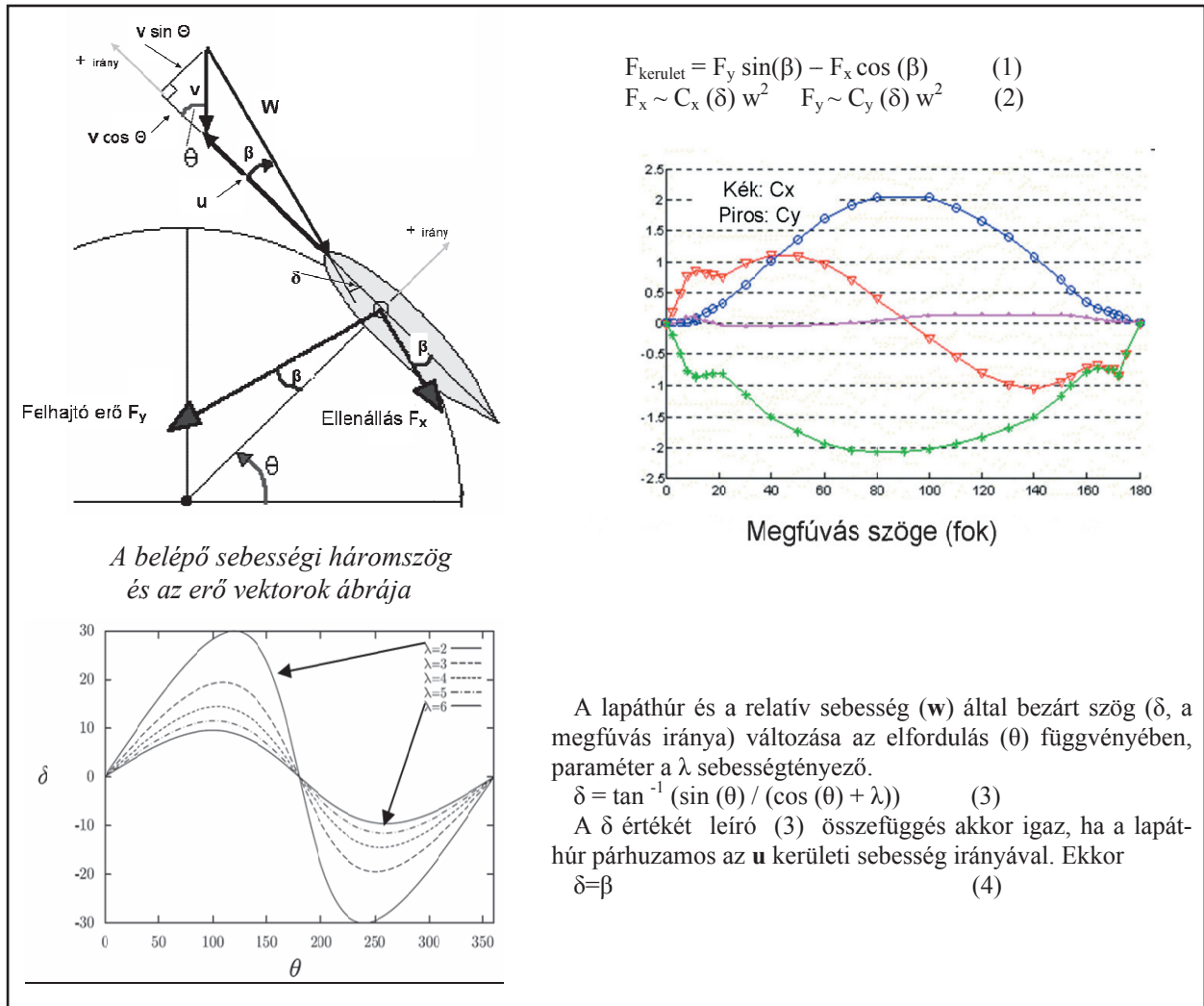
Az 1. táblázatban összefoglaljuk a kerületi erőt alapvetően befolyásoló paramétereket.

A belépő sebességi háromszög ábráját az erővektorok ábrájával együtt mutatjuk be. A két ábrát egyben felrajzolva jól szemléltethető a vektorok irányai és a vektorháromszögek szögei közötti kapcsolat, valamint az előjelekre vonatkozó konvenció.

Az egyszerűség érdekében a lapáthúr párhuzamos a kerületi sebesség irányával.

Az ábrán síklap helyett szimmetrikus profilú lapát szerepel, ennek azonban elvi jelentősége nincs, hiszen a síklapra vonatkozóan is kialakul felhajtóerő és fellép az

ellenállás, amelyek a megfúvás δ szögének a függvényében változnak. A szimmetrikus profilú lapátot amiatt szerepeltetjük, mivel a gyakorlatban ilyen lapátokat alkalmaznak a síklapéhoz képest kedvezőbb ellenállástényezője miatt. Számításaink során a [3] alapján szimmetrikus NACA profilok alacsony Reynolds-szám mellett érvényes adataiból szerkesztett jellegre helyes, de fiktív ellenállás- és felhajtóerő-tényező diagramját alkalmazunk. A számszerű értékeket az 1. táblázat is tartalmazza. A diagramon szereplő görbék közül csak a C_x és C_y menetét rögzítő piros és kék színnel felrajzolt adatsort használjuk.



1. táblázat

A kerületi erőt meghatározó geometriai mennyiségek:

- u kerületi sebesség;
- v közegsebesség;
- θ a lapátpozíció szöge.

Legyen a lapátpozíció θ -szöge és a sebességi háromszög α -szöge az alábbi módon összerendelve:

$$\alpha = \theta \quad (5)$$

$$\lambda = u/v \quad (6)$$

Fejezzük ki a fenti adatok felhasználásával a lapáton ébredő kerületi erőt. A (4) szerint a (3) átírható:

$$\beta = \tan^{-1}(\sin(\theta) / (\cos(\theta) + \lambda)) \quad (7)$$

A kerületi erő F_x és F_y tangenciális összetevőiből számítható (1) és (2) szerint. A kerületi erő pillanatnyi értékét fejezzük ki θ függvényében, λ értékével paraméterezve.

Képezzük először a C_y és C_x normális és tangenciális összetevőit:

$$C_{\text{norm}} = -C_y \cdot \cos(\beta) - C_x \sin(\beta) \quad (8)$$

$$F_{\text{kerület}} = u^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda} \cdot \cos(\theta) \right) \cdot \left[C_y(\theta, \lambda) \cdot \frac{\sin(\theta)}{\left(\lambda \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda} \cdot \cos(\theta)} \right)} - C_x(\theta, \lambda) \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{\sin(\theta)}{\left(\lambda \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda} \cdot \cos(\theta)} \right)} \right]^2} \right] \cdot \text{const} \quad (12)$$

Az összefüggés a sebességi háromszögre felírható trigonometrikus kapcsolatok felhasználásával adódik (1) alapján. A kifejezés összetett, periodikus és nemlineáris összetevőket tartalmaz.

A gyakorlatban kialakuló tényleges erőhatás, amint ezt a következő, 6. pontban bemutatjuk, a fenti, egy lapátra érvényes alapösszefüggést követi. A tényleges kerületi erő azonban szoros függvénye a konstrukciónak is, ami a lapátozás konkrét profiljától, a lapátprofil és a szerkezet főmértelei között fennálló méretarányoktól, a lapátszámtól való függést jelent. Az egyetlen lapátra vonatkozó alapösszefüggésben is megjelenik a konstrukció konkrét sajátosságaitól függő állandó, amely a közeg sűrűségétől és a konstrukció geometriai adataitól függ.

$$C_{\text{tang}} = C_y \cdot \sin(\beta) - C_x \cdot \cos(\beta) \quad (9)$$

A relatív sebesség (lásd: 2.táblázat vektorábráját):

$$w^2 = (v \cdot \sin(\theta))^2 + (v \cdot \cos(\theta) + u)^2 \quad (10)$$

Végül a lapáton ébredő kerületi erő:

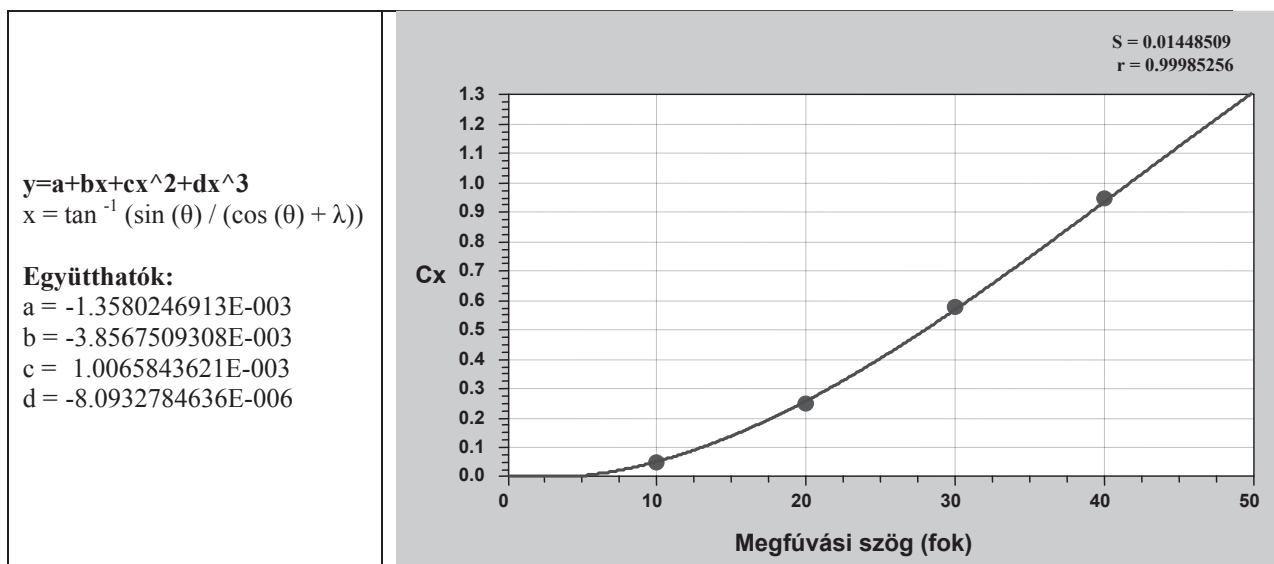
$$F_{\text{kerület}} = w^2 \cdot (-C_{\text{norm}} \cdot \sin(\theta) - C_{\text{tang}} \cos(\theta)) \cdot \text{const} \quad (11)$$

A kerületi erőre vonatkozó alapösszefüggést (1) megadjuk alább (12) a kerületi erőt meghatározó geometriai adatokból képezhető sebességparaméter, valamint a C_x és C_y felhasználásával zárt alakban is (emlékeztetünk arra, hogy C_x és C_y maguk is függvényei a λ sebességparaméternek és a lapát pillanatnyi helyzetének):

6. A SEBESSÉGPARAMÉTER MEGVÁLTOZÁSÁNAK BEFOLYÁSA A KERÜLETI ERŐRE

A kerületi erő alakulását jellemző alapösszefüggés már alkalmas a kerületi erő és a sebességi háromszög geometriája közötti kapcsolat néhány jellegzetességének a bemutatására. A számításhoz az 1. táblázatban feltüntetett, a C_x és C_y menetét mutató diagramot alkalmazzuk. A számítás céljára célszerűen polinommal közelítjük a diagramon szereplő görbét a megfúvási szög gyakorlati tartományában.

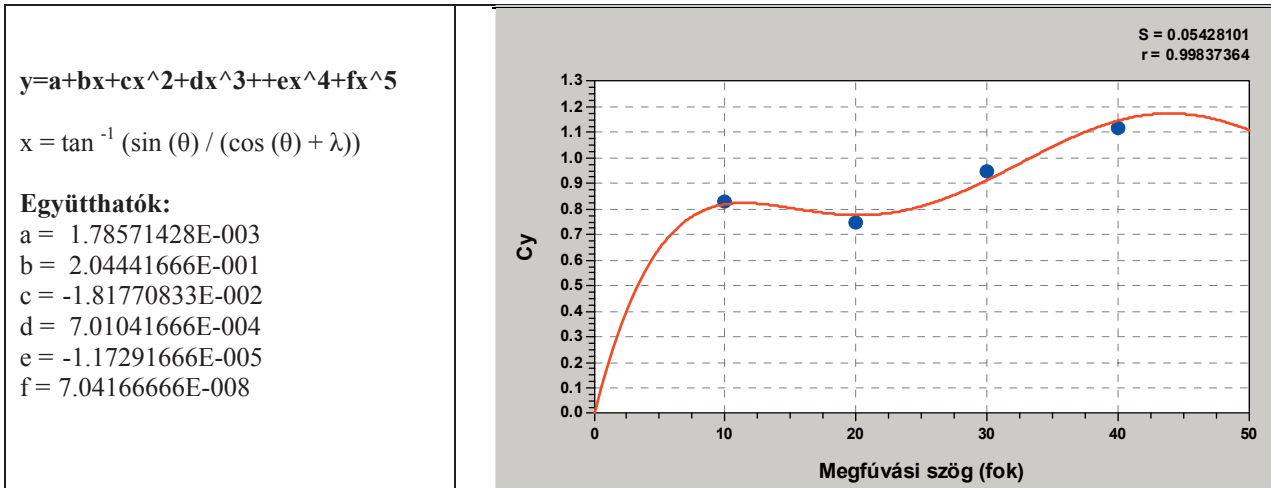
A C_x görbét 3-ad fokú polinommal közelítjük.



2.táblázat

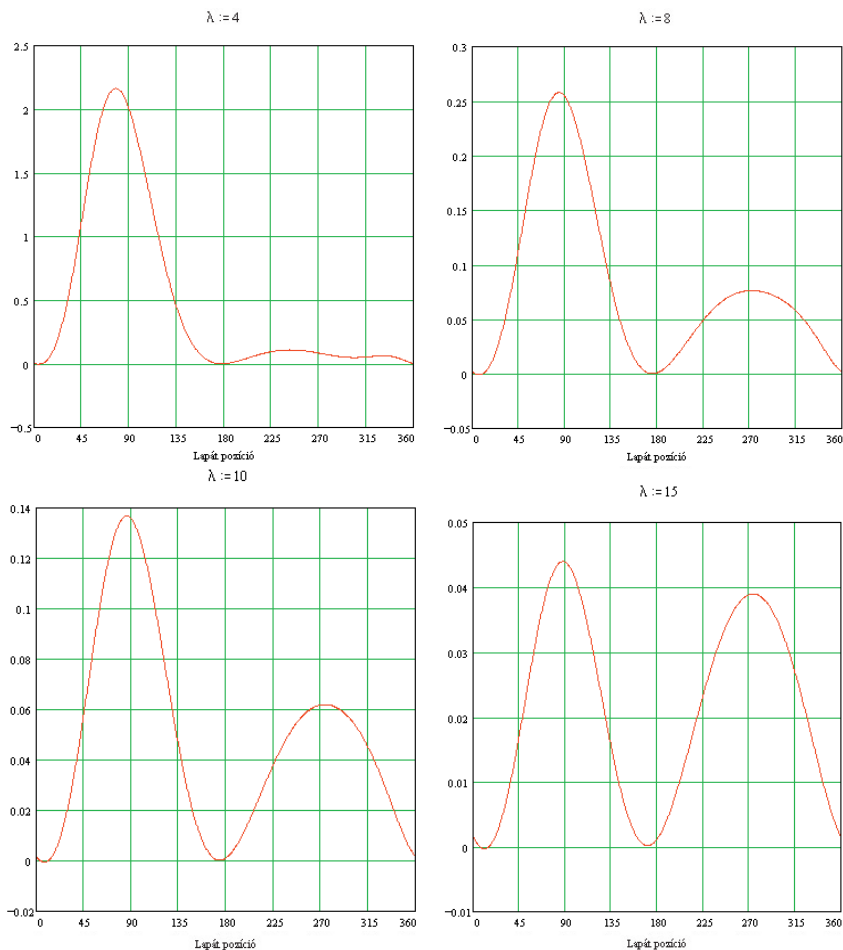
A C_y görbét 5-öd fokú polinommal közelítjük:

3.táblázat



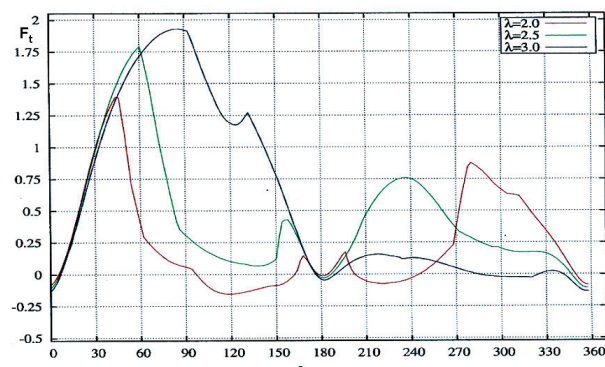
A (13) szerinti összefüggés egyszerű átalakításával képezhető a lapáton ébredő kerületi erővel (nem egyenesen) arányos $F_{kerület}/u^2/const$ mennyiség, amelynek menetét a lapát elfordulási szögének a függvényében a

λ sebességparaméter különböző értékei mellett a 5. ábra szemlélteti.



5. ábra. A lapáton ébredő kerületi erővel (nem egyenesen) arányos $F_{kerület}/u^2/const$ mennyiség jellegre helyes eloszlása a lapát pozíció függvényében, a λ sebességparaméter különböző értékei mellett

A megfúvási szög (azaz a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt δ szög) a θ szög függvényében a λ sebességparaméter növekedésével egyre kisebb mértékben ingadozik, ezért a C_y/C_x viszony a λ sebességparaméter növekedésével a θ szög növekvő tartományában alakul az optimális érték körül. Megjegyzendő, hogy a λ sebességparaméter növekedése általában az u kerületi sebesség növekedését jelenti (a közegsebesség állandónak tekinthető), ugyanakkor a C_y/C_x viszony jellegre helyes figyelembevétele mellett a λ sebességparaméter növekedésével az $F_{kerület}/u^2/\text{const}$ mennyiség csökkenő tendenciájú.



6. ábra. A lapáton ébredő kerületi erő megvalósított keresztáramú turbinán mért értékeiből képzett jellegre helyes eloszlása a lapát pozíció függvényében [2]

A görbe menete hasonló a 5. ábrán bemutatott, az egyszerűsített modelltől adódó képhez. Az ábra szemlélteti, hogy a kerületi erő kevésbé érzékeny a λ paraméter értékre, mint az $F_{kerület}/u^2/\text{const}$ mennyiség. A mérésen alapuló diagram tükrözi a konkrét szerkezet adataiból adódó jellegzetességet, így a C_y és C_x valós értékei miatt fellépő hatást. A 4. ábrán a görbe lefutása lényegesen simább, ami a számítási modell egyszerűsítései mellett elsősorban amiatt jelentkezik, mert a C_y és C_x valós értékei helyett egy tendenciájában hasonló menetű, de simított görbét alkalmaztunk.

7. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK

Az cikkben összefoglalt elemzés rámutat a keresztáramú turbina sebességparaméterének alapvető jelentőségére. A szerkesztett sebességi háromszögek alapján egyszerű szemlélet mutatja, hogy a sebességparaméter 1 alatti értékei mellett a járókerék nagy valószínűséggel nem marad forgásban, illetve szintén a szemlélet alapján látható, hogy létezik a paraméterek olyan együttese, amely biztosítja a forgásban maradási. A forgásban maradás és a külső segítség nélküli indulás feltételeit azonban nem tisztáztuk. A λ paraméter alacsony értékeinél $F_{kerület}$ átlagos értéke alacsonyabb. Ennek két fő oka van. Az egyik ok az, hogy az alacsonyabb sebességek miatt az erő nagysága négyzetesen csökkenő (lásd a belépő sebességi háromszögeket). Ez a körülmény a tangenciális erő nagyságát a teljes θ -tartományban csökkenti. A másik ok az, hogy a megfúvás iránya (amely a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt δ szög) egyaránt függ a lapát pozíciójától (θ) és a $\lambda = u/v$ aránytól. A λ sebességparaméter alacsony értékeinél a megfúvás iránya nagymértékben ingadozik a θ -szög függvényében, emiatt a megfúvás iránya csak szűkebb θ -

tartományban eredményez magas C_y és alacsony C_x értéket, azaz a tangenciális erő magas értékeit egy szűkebb θ -tartományra korlátozza. Mivel a λ paraméterrel u nagysága is változik (így a paraméter alacsonyabb értékeinél u is csökken), az átlagos teljesítmény is érzékenyen reagál a λ paraméter megváltozására. Az elemzés céljára a cikkben a sebességi háromszög ábrázolására a feladat sajátosságaihoz illesztett ábrázolási konvenciót vezetünk be. Bevezettük továbbá a keresztáramú turbina egy lapátjára vonatkozóan a kerületi erő alakulásának kvalitatív elemzésére alkalmas modellt is.

Az cikkben összefoglalt elemzés alapján a keresztáramú turbina működésének nincs elvi akadálya. Ez azt jelenti, hogy a forgásban lévő járókerék a fellépő kerületi erő következtében forgásban maradhat. Az egyszerű elemzés is rámutatott azonban lényeges részletkérdésekre, amelyeknek a megválaszolása a turbina gyakorlati alkalmazásának előfeltétele.

E részletkérdések között az egyik legfontosabb az indíthatóság, azaz: melyik paraméter milyen befolyást gyakorol az indítónyomatékra (a járókerék álló helyzetben van). Ehhez kapcsolódik a stabil üzem tartományának a helyzete is. E kérdéskörök számos részproblémát tartalmaznak. Munkánk folytatásában ezek elemzésével foglalkozunk.

SUMMARY

Wind power is one of the unlimited, non-polluting sources of energy and it is available in many regions throughout the world. One of the more economically viable wind machines that converts such power into a usable form is the Darrieus type of the cross-flow turbines which was invented by G. Darrieus, a Frenchman. Any aerodynamic performance prediction model have been formulated for the Darrieus turbine are based upon equating the forces on the rotor blades to the change in streamwise momentum through the rotor. The paper shows the evolution of the inlet velocity triangle in relation to the rotor blades. Furthermore the paper explains the fluctuations in the circumferential force as a characteristic feature of cross-flow turbines. Finally, the paper summarizes the cyclically varying forces, assuming different ratios of rotational speed and flow velocity

6. HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] U.S. Patent No. 1,835,018 „Turbine having its rotating shaft transverse to the flow of the current” Patented Dec. 8., 1931
- [2] B. KIRKE, L. LAZAUSKAS „Variable pitch Darrieus water turbines” Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 3, 2008
- [3] SHELDAL R.E., KLIMAS P.C. Aerodynamic characteristics of 7 symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine. Sandia National Laboratories SAND-2114
- [4] CZIBERE T.: Az el nem évülő Bánki-turbina létrehozója 150 éve született, GÉP 60. évf. 3. sz. / 2009
- [5] LAKATOS K.: Hydraulische Analyse einer Bánki-Turbine, Acta Mechanica Slovaca, 3/2000, 499-505 old. ISBN 1335-2393

INKREMENTÁLIS LEMEZALAKÍTÁS

INCREMENTAL SHEET METAL FORMING

Kovács Péter Zoltán*, Prof. Dr. Tisza Miklós**

ABSTRACT

Sheet metal forming is one of the most important key technologies in manufacturing industry. It may be reasoned by several facts, among them the economy of sheet forming processes concerning both the material and energy consumption, as well as the overall cost efficiency of sheet forming processes should be mentioned. To keep this key role of sheet metal forming in manufacturing industry, a continuous development is necessary concerning materials, sheet production technologies, development of new innovative forming processes, tooling and manufacturing equipment. In this paper, a new innovative sheet forming process, the incremental sheet metal forming will be described.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években egyre erőteljesebb igény jelentkezik rugalmas, új innovatív alakító eljárások kidolgozására és egyre szélesebb körű alkalmazására. Az inkrementális alakítás egyike e követelményeket kielégítő új innovatív technológiáknak.

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke a Ljubljani Egyetem Gyártástechnikai Intézetével közösen EUREKA program keretében pályázati támogatást nyert el *Hatékony inkrementális lemezalakító eljárások kidolgozása* címmel. A projektben mindkét országból egy-egy iparvállalat is részt vesz: Szlovéniából az EMO Orodjarna d.o.o., Magyarországról az Industar Kft.

Ebben a cikkben röviden ismertetjük az inkrementális alakítás alapjellemzőit, majd beszámolunk a közös kutatások kezdeti eredményeiről.

2. AZ INKREMENTÁLIS LEMEZALAKÍTÁS ELVI ALAPJAI

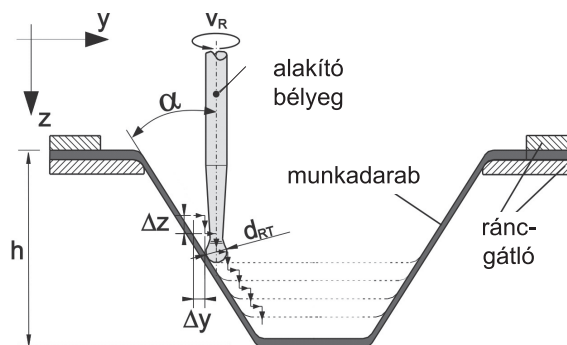
A hagyományos képlékenyalakító eljárások általában egyszerű, merev szerszámokat alkalmaznak: a munkadarab alakját rendszerint a munkadarab alakjá-

nak megfelelően kiképzett alakító bélyeggel és matricával határozzuk meg, alakítjuk ki. Azonban különösen olyan esetekben, amikor a szerszámok költségeinek csökkentése fontos szempont, a szerszám nélküli (matrica nélküli), rugalmas alakító eljárások alkalmazása különösen előnyös lehet.

2.1. Az inkrementális alakítás technológiai változatai

Az inkrementális alakítás alapötletét Leszak [1] szabadalmaztatta az Egyesült Államokban 1967-ben. Ezt követően számos szakközlemény foglalkozott az inkrementális alakítás különféle változatainak elemzésével.

Az inkrementális lemezalakításnál rendszerint egy egyszerű gömbvégződésű alakító szerszámmal (bélyeggel), matrica nélkül, az alakító szerszámelem mozgásának térbeli vezérlésével, elemi alakítási lépések sorozatával, bonyolult, nagymértékű alakváltozást igénylő alkatrészek viszonylag egyszerűen, költséghatékonyan gyárthatók. Az eljárás sematikus vázlatát a főbb geometriai és technológiai paramétereket is feltüntetve az 1. ábra szemlélteti.

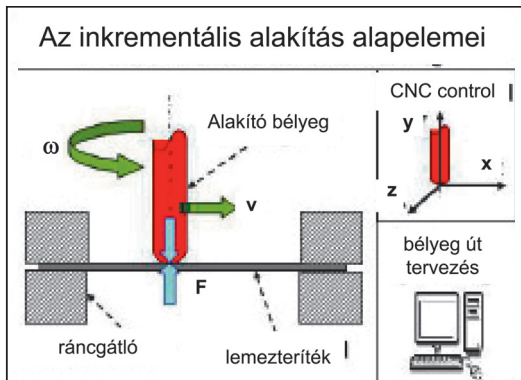


1. ábra. Egy pontos inkrementális alakítás elvi vázlata

Az inkrementális lemezalakítás általában a 2. ábrán látható négy alapelemmel jellemezhető: az alakítandó lemez; az ún. ránc tartó; az alakító bélyeg és az alakító bélyeg mozgását meghatározó CNC vezérlés.

* egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

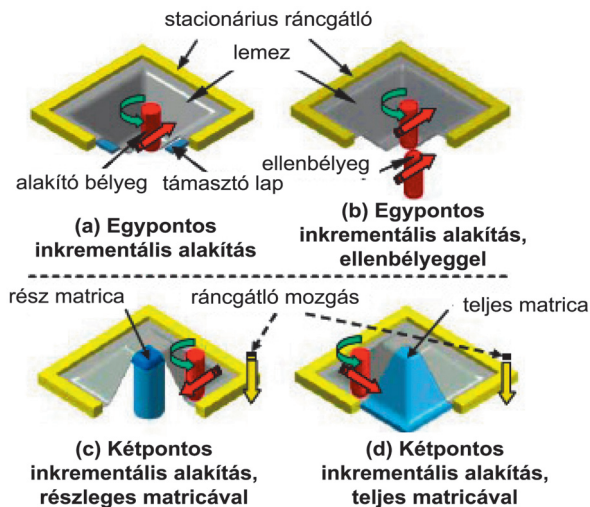
** témavezető, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék



2. ábra. Az inkrementális lemezalakítás alapelemei

A különféle eljárás változatoknál e négy alapelemhez további elemek társulnak, mint például az ellenbélyeg, az alakot részben, vagy teljesen meghatározó matrica [2].

Az inkrementális alakítás technológiai változatait elemezve két alapvető csoportot különböztethetünk meg, nevezetesen szimmetrikus és aszimmetrikus inkrementális lemezalakítást. Mindkét esetben az alakítást egy viszonylag egyszerű kialakítású, sokcélúan felhasználható alakító bélyeggel végezzük, amelynek derékszögű koordinátákban meghatározott mozgását a megmunkáló gép CNC vezérlése biztosítja. Az x és az y tengelyek a lemez síkjában értendők, míg a z-tengely jelöli a bélyeg elmozdulásának irányát, amelynek mentén az alakítás történik.



3. ábra. Az inkrementális lemezalakítás négy alapesete

Az inkrementális alakítások második főcsoportját az aszimmetrikus inkrementális alakítás jelenti, amely további alcsoportokra bontható. Az aszimmetrikus inkrementális alakítás eljárás változatainak 3. ábrán látható átfogó rendszerezését Bambach és Hirt ismertette [3].

2.2. Az inkrementális alakítás szerszámozási kérdései

Általános esetben az inkrementális alakításhoz szerzőként csak egyetlen, univerzális alakító bélyegre van szükség. A legáltalánosabban tömör, félgömbvégződésű

alakító bélyegeket alkalmaznak, amelyek az alakítás során folyamatos érintkezést biztosítanak a szerszám és az alakítandó lemez között. Különösen kis falszögek esetén előfordulhat, hogy a bélyeg szárátmérőjét a bélyegvégződés átmérőjénél kisebbre kell választani, a bélyegszár és az alakítandó lemez érintkezésének elkerülése érdekében. Erre egyébként a bélyeg mozgáspályájának generálásánál is mindig tekintettel kell lenni. Néhány tipikus bélyeg kialakítás látható a 4. ábrán.



4. ábra. Különböző bélyeg kialakítások inkrementális alakításhoz

Az ábra bal oldalán $\phi 6$, 10 és 30 mm átmérőjű, ötvöztött karbidokat tartalmazó szerszámacélból készült bélyeg kialakítások láthatók, míg az ábra jobb szélén látható bélyeg műanyag bevonattal készült az alakítás közbeni kémiai reakciók elkerülése érdekében.

2.3. Az inkrementális alakítás gépi berendezései

Általában elmondható, hogy lényegében minden, legalább 3-tengelyes CNC vezérléssel rendelkező marógép alkalmas inkrementális alakításra is. Természetesen vannak olyan paraméterek, amelyek az alakítás szempontjából kedvezőbbek. Így például a nagy szerszám sebesség, nagy munkatér (nagyméretű alkatrészek alakítására), valamint a nagy merevség az inkrementális alakítás szempontjából a megmunkáló gép előnyös paramétereit jelentik [4]. Jellemzően az inkrementális lemezalakítási kísérletek zömét többcélú, általános rendeltetésű, CNC vezérlésű marógépeken végezték. Kimondottan az inkrementális alakítás céljaira tervezett, kereskedelmi forgalomban is kapható, egycélú alakító gépet napjainkig csak egyetlen alakító gép gyártó, a japán AMINO cég gyárt [5].

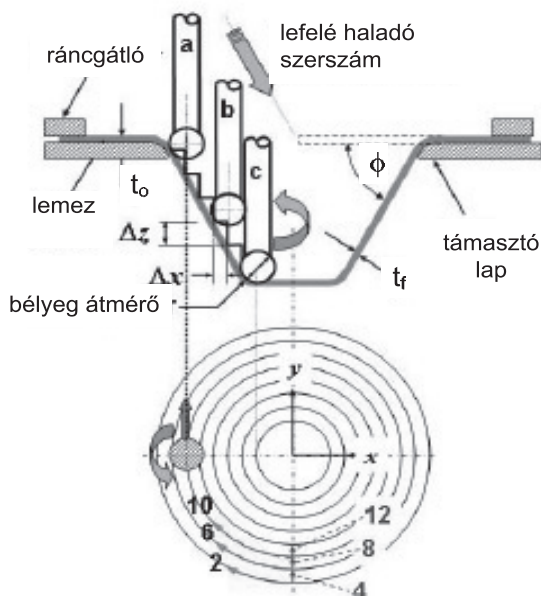


5. ábra. Az AMINO cég célorientált alakító gépe [5]

A berendezés (5. ábra) merev vázszerkezettel, és a kétpontos inkrementális alakításhoz nélkülözhetetlen mozgó, numerikusan vezérelt ráncartóval rendelkezik. A berendezés közepes méretű alkatrészek gyártására és nagy előtolási sebességek megvalósítására alkalmas. A berendezést a Matsubara [6] által kidolgozott technológiai elv és Aoyama szabadalmának [7] felhasználásával építették meg.

2.4. Az inkrementális alakítás fő technológiai paramétereit

Az inkrementális lemezalakítás legfontosabb technológiai paramétereit a lemezvastagság (t), a szerszám átmérő (d), a szerszám forgási sebesség (ω), valamint a bélyeg x és z -tengely irányú elmozdulásai (Δx , illetve Δz) jelentik. E paraméterek jelölése a 6. ábrán látható, amely egyben az inkrementális lemezalakítás folyamatának megértését is segíti. (A 6. ábra, egyponthoz, inkrementális lemezalakításra vonatkozik.)



6. ábra. Egyponthoz, inkrementális alakítás elvi vázlatja a technológiai paraméterekkel

Az előzőekben felsorolt technológiai paraméterek mind az alakíthatóságra, mind pedig a termék minőségére lényeges hatást gyakorolnak, amelyek részletes elemzése a hivatkozott kutatási projekt [9] alakíthatósági kérdésekkel és az alakított munkadarabok pontosságával foglalkozó fejezeteiben olvasható.

3. AZ INKREMENTÁLIS ALAKÍTÁS FÉLÜZEMI-KÍSÉRLETI MEGVALÓSÍTÁSA

A kísérleti feltételeket alapvetően a projekt ipari partnerénél rendelkezésre álló ipari körülmények határozták meg. Mivel értelemszerűen célorientált berendezéssel

ehhez a világszerte a kutatás stádiumában lévő eljárás-hoz nem rendelkezünk, az eljárás-hoz általánosan alkalmazott CNC vezérelt marógépre terveztük a vizsgálatokat. Az Industar Kft. gépparkjának figyelembevételével – a projektben közreműködő ipari partner munkatársaival egyetértésben – egy HURCO VMX30 CNC megmunkáló központ, mint gépi berendezés alkalmazása mellett döntöttünk. A berendezés fényképe a 7. ábrán látható.

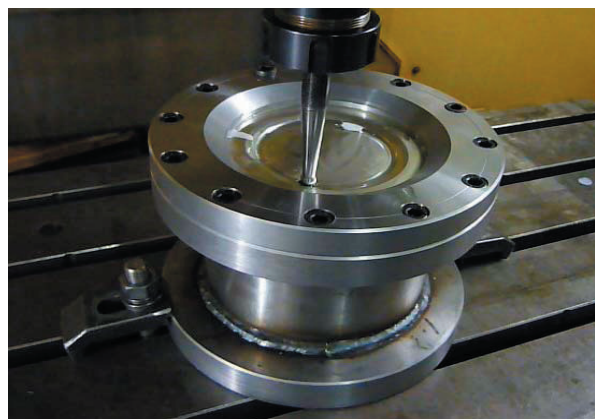


7. ábra. A vizsgálatok céljára kiválasztott CNC vezérelt megmunkáló központ

A kísérleti gyártás szerszámát egyrészt az alakító gép adottságainak, másrészt a választott kísérleti munkadarab geometriai kialakításának figyelembevételével terveztük meg. Az elkészült szerszámot a HURCO VMX30 megmunkáló központra felszerelt állapotban a 8. ábrák mutatják.



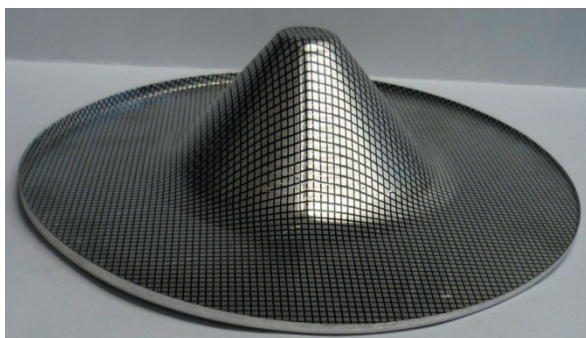
8/a. ábra. A kísérleti szerszám a megmunkáló központ befogó elemeivel



8/b. ábra. Közelkép a kísérleti szerszámról

Az előkísérletekhez jól alakítható alumínium ötvözetet választottunk. Ennek indoka, az alumínium jó alakíthatósága mellett elsősorban az Al-ötvözet viszonylag kis alakítási szilárdsága, amelynek következtében az alakítás erőszüksége sem túl nagy, így a precíziós megmunkálásokra alkalmazott CNC marógép orsóját nem terheljük túl. Mindezek alapján az Al 1050-A alumínium ötvözetet választottuk az előkísérletek anyagaként.

Kísérleteink során vizsgáltuk az inkrementális lemezalakítás legfontosabb technológiai paramétereit. E vizsgálatok során különféle csonka kúp alakzatokat hoztunk létre (9. ábra). Minden esetben a munkadarab anyaga: Al 1050-A, a lemezvastagság 0.6 mm és a teríték átmérője 194 mm volt.



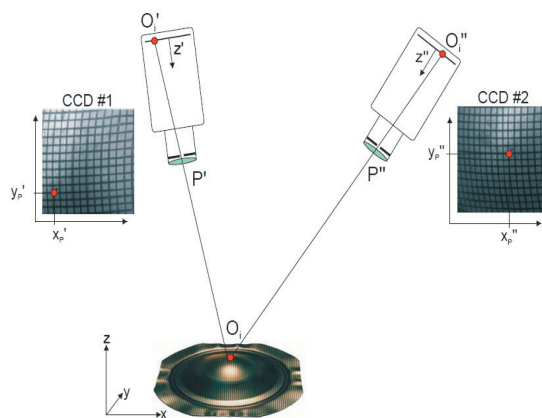
9. ábra. Inkrementális alakítással készített munkadarab

4. AZ INKREMENTÁLIS ALAKÍTÁS VIZSGÁLATA

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológia Tanszékén a Regionális Egyetemi Tudásközpont támogatásával a közelmúltban egy integrált lemezalakíthatósági vizsgáló rendszert valósítottunk meg, amely egy elektro-hidraulikus, számítógép vezérlésű lemezvizsgáló gépet és egy automatizált optikai alakváltozás-mérő rendszert foglal magába (9. ábra).



10. ábra. Az alakíthatósági vizsgáló rendszer és az optikai mérőrendszer fényképe



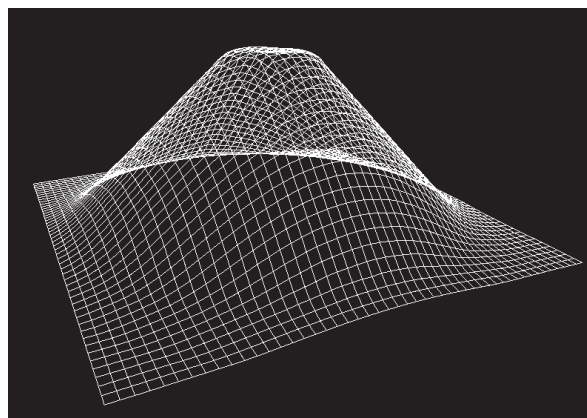
11. ábra. Az alakíthatósági vizsgáló rendszer és az optikai mérés alapelveinek vázlatja

A képmérés alkalmazott technikája lehetővé teszi, hogy az alakított munkadarab felületi pontjainak 3D-s koordinátáit a különböző nézetekből felvett képekből egyértelműen meghatározzuk. Az AutoGrid mérőrendszer (10. ábra) 4 CCD kamerát használ mobil mérőfejekkel.

Az alakváltozásokat a munkadarab felületére felvett 2×2 mm-es, négyzetrácsos háló torzulásának mérésével határozhatjuk meg.

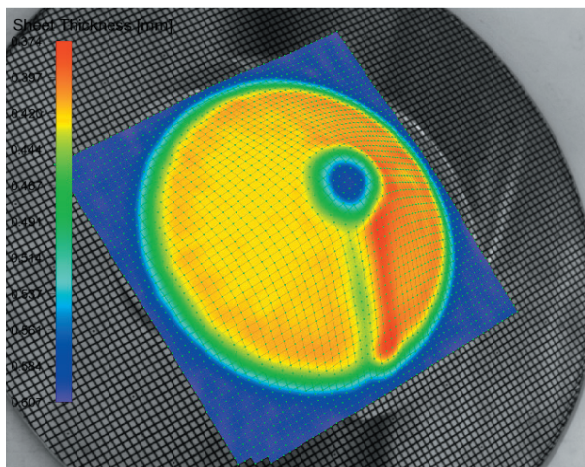
Az AutoGrid rendszerben a képek rögzítése kétféle módszerrel történhet: *normál*, illetve *eljárás közbeni* felvétellel. A *normál* felvételt alapvetően az alakítási eljárások utáni alakváltozási elemzésre használjuk. Az *eljárás közbeni* képrögzítési opció lehetővé teszi az alakítási folyamat közbeni alakváltozás mérését, kiértékelést is. Ezt a lehetőséget különösen az alakítási határgörbék meghatározásánál hasznosítjuk.

A képrögzítést követően, a képek automatikus kiértékelésével, az erre a célra kidolgozott szoftver segítségével meghatározhatjuk a rácspont koordináták 3D-s térbeli helyét (12. ábra.), amelyből az alakváltozási értékek számíthatók. A képek rögzítésénél a 3D-s képet a 4 kamera képéből határozzuk meg.



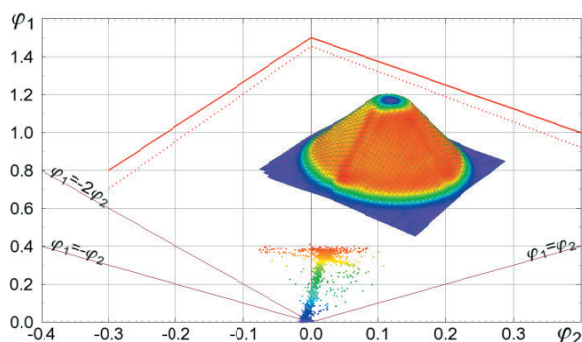
12. ábra. A rácspontok térbeli elhelyezkedése alapján meghatározott 3D-s háló

A mérés szoftveres elemzésével számos, az alakítási folyamat legfontosabb jellemzőit bemutató eredményt szolgáltatathatunk: főalakváltozások, összehasonlító nyúlás, falvastagság-eloszlás, stb. A falvastagság eloszlását mutatja a 13. ábra.



13. ábra. Falvastagság eloszlása

A különböző alakváltozási utak mentén meghatározott φ_1 és φ_2 főalakváltozási értékeket diagramban ábrázolva az alakítási határ diagramot kapjuk. A 14. ábrán az Al 1050 A anyagminőségű alumínium ötvözet inkrementális alakításra meghatározott alakítási határdiagramjában az alakított munkadarabon mért φ_1 és φ_2 főalakváltozási értékeket ábrázoltuk.



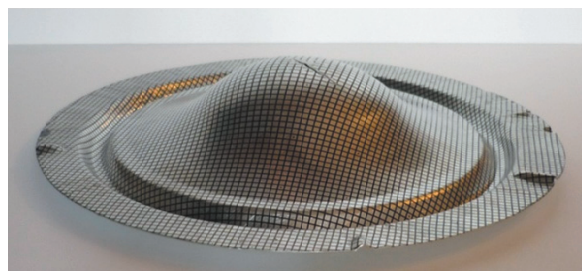
14. ábra. Alakítási határ diagram

4.1. Az alakíthatóság elemzése

Amint azt már korábban említettük a hagyományos képlékenyalakító eljárásoknál merev szerszámokat, a munkadarab alakjának megfelelően kiképzett alakító bélyeget és matricát, míg az inkrementális alakításnál általában csak egy egyszerű, gömbfejű alakító bélyeget használunk. Az inkrementális lemezalakításnál az alakító szerszámelem mozgásának térbeli vezérlésével az anyagban, elemi alakítási lépések sorozatával nagyobb alakítást tudunk létrehozni, mint a hagyományos alakításokkal. Ennek igazolása érdekében a Vialux optikai mérőrendszer segítségével bemutatjuk ugyanazon geo-

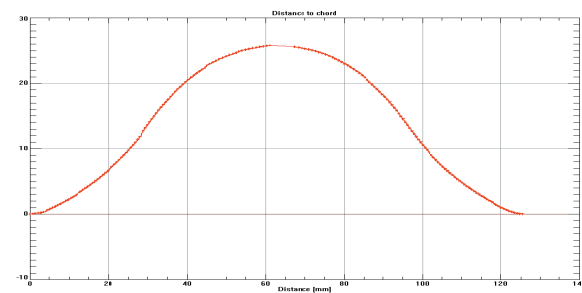
metriájú munkadarab elkészítését hagyományos alakító eljárással, és az inkrementális alakítással.

Az alakíthatósági vizsgálat berendezésén, egy 100 mm-es gömbfejű bélyeggel a lemezt hagyományos alakítással szakadásig alakítottuk. Az így elkészített munkadarab fényképe látható a 15. ábrán.



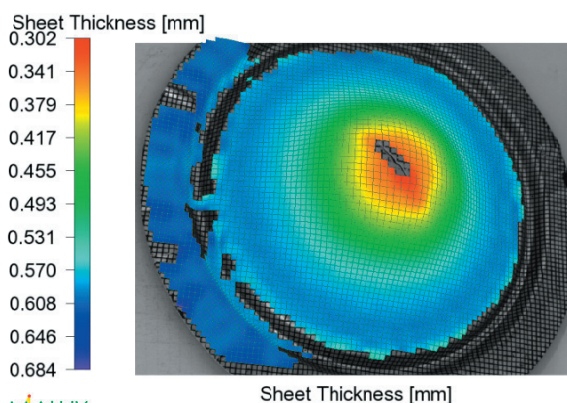
15. ábra. Hagományos képlékenyalakító eljárással készített munkadarab

Mivel a lemezt ebben az esetben is behálóztuk az alakítást követően a Vialux optikai mérőrendszer segítségével – metszetek készítésével – meghatározhatjuk a pontos geometriát (16. ábra) amit inkrementális alakítással is létre kívánunk hozni.



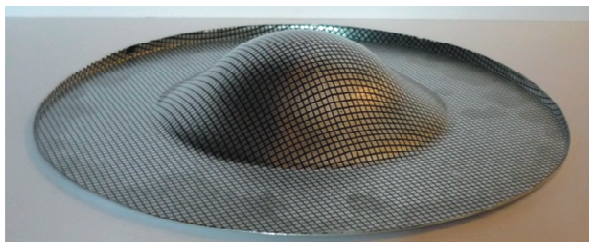
16. ábra. A munkadarab geometria meghatározásához készített metszeti kép hagyományos képlékenyalakító eljárással készített munkadarabon

Az alakítás elemzése során az ipari körülmények között is a legegyszerűbben összehasonlítható értékeket a falvastagság változás eloszlása mutatja (17. ábra).



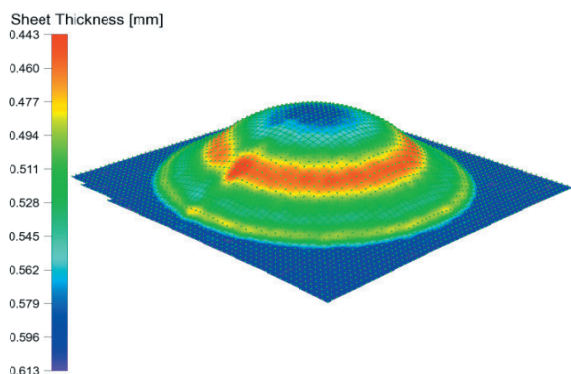
17. ábra. A falvastagság eloszlása hagyományos képlékenyalakító eljárással készített munkadarabon

Az inkrementális alakítás során azonos méretű és tulajdonságú lemezt alakítottunk 10 mm átmérőjű, gömbfejű alakító bélyeggel, a bélyeget a megvalósítandó geometriának megfelelő pályán mozgatva. Az így elkészített munkadarabot szakadás nélkül kialakítottuk, amelyet a 18. ábra mutat.

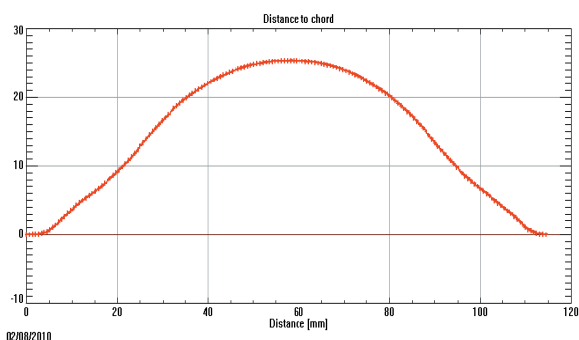


18. ábra. Inkrementális alakítással készített munkadarab

Az inkrementális alakításnál a falvastagság eloszlását a falszög változása igen számottevően befolyásolja. Az inkrementális alakítással készített munkadarab falvastagság eloszlását szemlélteti a 19. ábra.



19. ábra. Falvastagság eloszlása inkrementális alakítással készített munkadarabon



20. ábra. A geometria ellenőrzéséhez készített metszeti kép inkrementális alakítással készített munkadarabon

4.2. Az inkrementális alakítás modellezése

Napjaink informatikai hátterével elérhetővé vált a bonyolult matematikai-mechanikai modellekkel leírható alakító eljárások numerikus modellezése is.

Az alakítástechnikában, különösen a lemezalakítás területén e célra számos szoftver áll rendelkezésünkre.

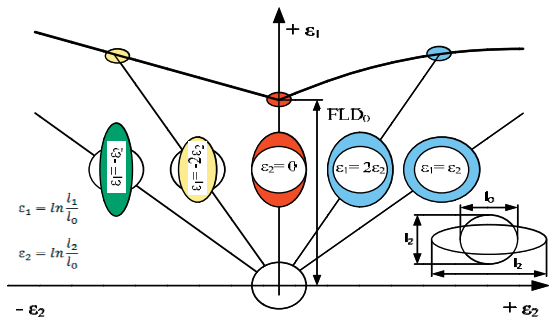
A modellezés fő feladata, hogy megismerjük az alakíthatóság határait, a modellező programok alkalmazhatóságát, a modellezés pontosságát, korlátait. Az inkrementális alakítás modellezéséhez a MARC általános végeleemes szoftvert használtuk.

Az elemzés során lehetőség van a tényleges alakítások optikai mérőrendszerrel kapott eredményeinek és a numerikus modellezés eredményeinek összevetésére, ezáltal a program megbízhatóságának ellenőrzésére is. A továbbiakban alapvető célkitűzésünk, hogy ezek az eljárások és vizsgálati-elemzési technikák, a kísérleti és modellezési tapasztalatokat felhasználva minél szélesebb körben bevezetésre kerüljenek az iparban.

Az összehasonlítás során kulcskérdés, hogy az értékelés, összehasonlítás, milyen szempontok szerint történjen: mi az a célszerűen megválasztott jellemző, ami jól mérhető mind a tényleges mind a modellkísérletek során és megfelelő információt hordoz a folyamat megértése szempontjából.

Összetettebb alakítások esetén a hagyományos mérőszámok nem elégségesek. A bonyolultabb alakítás követelményeit jobban jellemző, és a lemez anizotrópiáját is tartalmazó, komplex mérőszámok kifejlesztése és alkalmazása vált szükségessé. Előtérbe kerültek az alakíthatósági határállapotot jellemző mérőszámok, diagramok. A napjainkban széles körben elterjedt végeleemes módszereket alkalmazó, számítógépes technológiai- és szerszámtervező rendszerek a hagyományos anyagjellemzők mellett az alakíthatóság értékelésére alapvetően az alakíthatósági határdiagramokat (FLD) alkalmazzák.

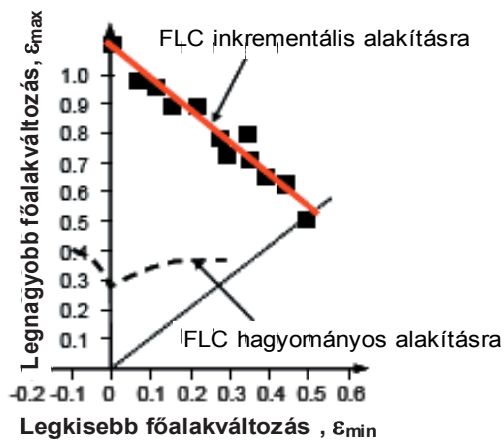
Az alakítási határdiagramok alkalmazásának fő célja, hogy meg tudjuk határozni alakítás során azt a biztonságos tartományt, ahol az alakítás, törés, repedés veszélye nélkül, biztonsággal elvégezhető, illetve azt a kritikus zónát, ahol nem-kívánt mértékű elvékonyodás, vagy törés legvalószínűbben bekövetkezik. Egy adott pontban az alakváltozási állapot, a síkban értelmezett főalakváltozásokkal (φ_1 , φ_2) egyértelműen jellemezhető. Az FLD-k a legnagyobb és a legkisebb főalakváltozások (φ_1 , φ_2) koordináta rendszerében ábrázolják a károsodási határeseteket. A tönkremenetelt eredményező károsodási pontokat összekötő görbét nevezik alakítási határgörbének. Az alakítási határgörbék (FLC)-k meghatározhatók elméleti úton és kísérleti módszerekkel is. A kísérleti módszereknél az alakítás előtt, valamilyen – rendszerint kör alakú, vagy négyzetrácsos hálót, visznek fel a lemez felületére. A körök, az alakítás hatására „ellipszisekké” torzulnak. Körháló alkalmazása esetén az eredeti kör átmérőjéből és az alakítás során ellipszis alakúvá torzult háló nagy és kis tengelyeiből a főalakváltozások közvetlenül meghatározhatók. Egy ilyen hagyományos diagramot szemléltet a 21. ábra, a jellegzetes alakváltozási utakat is feltüntetve. Hasonlóképpen a négyzetrácsos háló alkalmazása esetén is – némiképp bonyolultabb algoritmus alkalmazásával – a főalakváltozások pontról-pontra meghatározhatók.



21. ábra. Hagymányos lemezalakításra érvényes alakíthatósági határdiagram

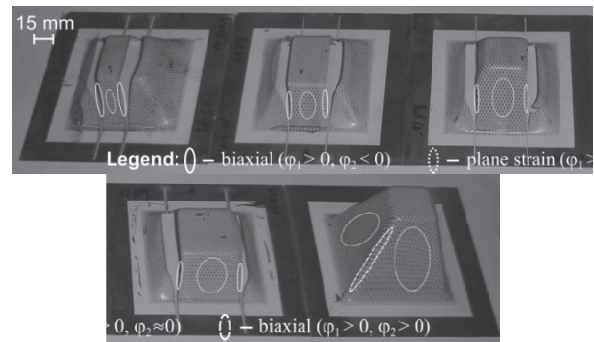
Az alakítási határdiagram egy megbízható eszköz az alakítási technológiákban, amellyel minősíthetjük az alakítási folyamatot, figyelembe véve az anyag alakíthatósági tulajdonságait. A kísérleti úton mért értékek a diagramon egy pontthalmazként jelennek meg, amelyet könnyen összehasonlíthatunk az anyagra vonatkozó alapadatokkal, azaz az alakíthatósági határgörbével.

Az inkrementális alakításnál is fontos a különböző alakváltozási történeteket is egybefoglaló alakíthatósági határ diagramok ismerete. Míg a klasszikus lemezalakító eljárásoknál az alakítási határgörbe alakja a 21. ábrán is látható V-alakkal jellemezhető, az eddigi kutatások azt mutatják, hogy az alakítási határgörbe inkrementális alakításnál jó közelítéssel egy negatív iránytangensű egyenessel adható meg, amint az a 22. ábrán is látható.



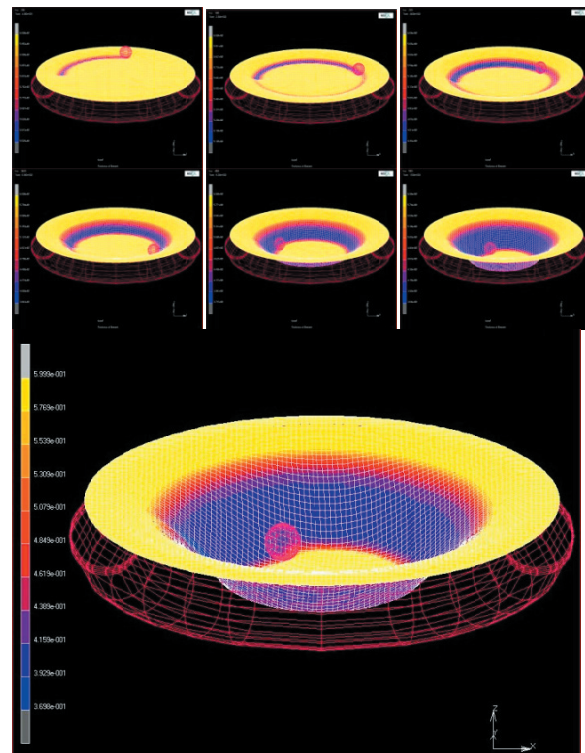
22. ábra. Inkrementális alakításra érvényes alakítási határgörbe

Az inkrementális alakítás határdiagramjának meghatározása a hagyományos alakításnál megszokottnál is összetettebb feladat. Amint az alakítási határ diagramok elméletéből is ismert [8] a határgörbe meghatározásához többféle próbatest kialakítást alkalmaznak. Ugyanez érvényes az inkrementális alakítás esetére is. A szokásosan alkalmazott próbatestek csonkakúp, félgömb, hiperboloid, vagy gúla alakúak. A 23. ábra az inkrementális alakítás határdiagramjainak meghatározására kifejlesztett, speciális, osztott munkadarab kialakítást szemléltet.



23. ábra. Inkrementális alakítással készített próbatestek az alakíthatósági határgörbe meghatározására

Az inkrementális lemezalakítás legfontosabb technológiai paramétereit vizsgálva modelleztük az elvégzett kísérleteket. A 24. ábrán egy 45°-os falfszögű csonka kúp falvastagság eloszlása látható az alakítási folyamat során.



24. ábra. 45°-os csonka kúp inkrementális alakítási folyamatának modellezése

A modelleknél 4 csomópontos héj elemeket használtunk. A szimulációkban a valóság minél pontosabb leírása érdekében további kísérletekre van szükség az anyagra vonatkozó legfontosabb bemeneti paraméter az alakítási határgörbe minél pontosabb meghatározásában. A MARC szoftverben elvégzett szimulációk megmutatták, hogy a program alkalmas az inkrementális alakítás modellezésére. A végleges eredmények kialakításához további szimulációk elvégzésére van szükség.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy EUREKA projekt keretében folyó kutatás, az inkrementális lemezalakító eljárás elemzésével foglalkozik. A bemutatott rövid ismertetésből is nyilvánvaló, hogy az inkrementális alakító eljárások számos előnnyel rendelkeznek. Az eljárás legfontosabb előnyeit röviden az alábbiakban összegezhetjük:

- Összetett, bonyolult alkatrészek gyorsan, egyszerűen gyárthatók közvetlenül az alkatrész CAD modelljéből előállított szerszámpálya vezérlő programmal.

- Az eljárás nem igényel különleges szerszámozást, sőt lényegéből fakadóan rendszerint csak egy viszonylag egyszerű, általánosan alkalmazható alakító bélyegre van szükség.

- Az előzőkből következően az eljárás kiválóan alkalmas gyors prototípus gyártásra és kissorozatú gyártásra egyaránt.

- Az alkatrész kialakításának módosítása a gyártásban könnyen és gyorsan megvalósítható, a bélyeg mozgását vezérlő CNC program módosításával, ezáltal nagyfokú rugalmasságot biztosítva az alkatrészek széles választékának és változatainak előállításában.

- Ugyancsak az eljárás lényegéből fakadóan a pillanatnyi képlékeny zóna kis kiterjedésű és növekményi természetéből következően az alakíthatóság jelentős növekedését eredményezi a hagyományos eljárásokhoz viszonyítva, ezáltal

- egyrészt nehezen alakítható anyagok megmunkálására is alkalmas,

- másrészt összetett geometriájú alkatrészek a hagyományos alakító eljárásokhoz viszonyítva kevesebb alakítási lépéssel megvalósíthatók.

- Nem igényel különleges megmunkáló gépet, a legtöbb, legalább 3-tengelyes CNC vezérléssel rendelkező egyetemes megmunkáló gépen is elvégezhető.

- A gyártandó alkatrész méretét lényegében csak a megmunkáló gép méretei korlátozzák.

Az eljárásnak természetesen vannak bizonyos hátrányai is, amelyeket röviden az alábbiakban összegzünk:

- Az eljárás legnagyobb hátrányaként azt kell megemlíteni, hogy a gyártási idő a hagyományos alakító eljárásokhoz képest – az eljárás inkrementális, növekményi jellegéből következően – lényegesen nagyobb.

- Ebből következően az eljárás termelékenysége is kicsi, következésképpen az egyedi, illetve kissorozatú gyártásban lehet csak versenyképes alternatíva.

Egy további hátrányként megemlíthető, hogy $\alpha = 90^\circ$ -os falszögű alkatrészek – ugyancsak az eljárás lényegéből fakadóan – egy lépésben nem gyárthatók, többlépéses alakító eljárást kell alkalmazni.

5. SUMMARY

This paper presents a study on a novel sheet metal forming process, namely the incremental sheet metal forming. The research work presented in this paper is the part of a joint European project performed under the umbrella of

EUREKA project initials. It is evident from the short description that incremental forming processes have several advantages. The most important advantages of the process can be summarized as follows:

- *Complex, complicated parts can be produced quickly, directly from the CAD model of the part with controlling the tool path by CNC control system.*

- *The process does not require special tools; usually it only needs a simple, generally applied forming punch.*

- *The process is suitable for fast production of prototypes and for application in small series production, too.*

- *Any modification of the part to be produced can be done easily and quickly, just modifying the CNC program controlling the punch movement. Hereby, it provides great flexibility to produce wide range and large variety of parts.*

- *Due to the incremental nature of instantaneous plastic zone it results in significant increase of formability compared to traditional processes.*

6. IRODALOM

- [1] LESZAK, E.: *Apparatus and process for incremental dieless forming*, US Patent, US 3342051A1, published 1967.09.19
- [2] JESWIET, J. et al: *Asymmetric single point incremental forming of sheet metal*, Annals of CIRP. v. 54. pages 623-650. 2005
- [3] BAMBACH, M., HIRT, G., JUNK, S.: *Modelling and experimental evaluation of the incremental sheet CNC sheet metal forming*, 7th Int. Conf. on Computational Plasticity, COMPLAS'2003, Barcelona, 7-10. April 2003.
- [4] HIRT, G.: *Tools and Equipment used in Incremental Forming*, 1st Incremental Forming Workshop, University of Saarbrücken, 9 June 2004. On CD-ROM.
- [5] AMINO, H., LU, Y., MAKI, T., OSAWA, S., FUKUDA, K.: *Dieless NC Forming, Prototype of Automotive Service Parts*, Proceedings of the 2nd International Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing (ICRPM), Beijing, 2002.
- [6] MATSUBARA, S.: *Incremental Backward Bulge Forming of a Sheet Metal with a Hemispherical Tool*, Journal of the JSTP, v. 35, pp. 1311-1316, 1994.
- [7] AOYAMA, S., AMINO, H., LU, Y., MATSUBARA, S.: *Apparatus for dieless forming plate materials*, Europäisches Patent EP0970764, 2000.
- [8] TISZA, M., KOVÁCS, P. Z.: *A complex measuring and evaluation system for determination of forming limit diagrams*, *Materials Science Forum* Vol. 589 (2008) pp 233-238.
- [9] TISZA, M., KOVÁCS, P. Z.: *Hatékony inkrementális alakító eljárások kidolgozása*, Kutatási jelentés, Készült az EUREKA_HU_08 (OMFB 220/2009) projekt keretében, Miskolc, 2010. pp. 1-45.

7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett inkrementális lemezalakító eljárások vizsgálatára az EUREKA_HU_08-ISM- FP_ME (nyilvántartási száma: OMFB 220/2009) számú projekt keretében került sor. A szerzők ezúton is megköszönik a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak a kutatómunkához nyújtott pénzügyi támogatást.

SPIROID CSIGAHAJTÁS TÁNYÉRKERÉKÉNEK MÉ- RÉSTECHNIKAI ELEMZÉSE

THE MEASUREMENT TECHNIQUE ANALYSIS OF THE CROWN WHEEL OF SPIROID WORM GEAR DRIVES

Monostoriné Hörcsik Renáta*, Dr. Dudás Illés**

ABSTRACT

In this paper, the qualitative analysis for measuring technique of spiroid worm drives will be presented. The prescribed and the experimentally measured values of bevel-angle, the pitch and the profile shape will be compared.

1. BEVEZETŐ

A gépipar számos területén – csigahajtópárok, mozgatóorsók, fogazószerszámok – használják a csavarfelületeket, ennek megfelelően sok intézetben, vállalatnál foglalkoznak ezek tervezésével, gyártásával, minősítésével, alkalmazásával.

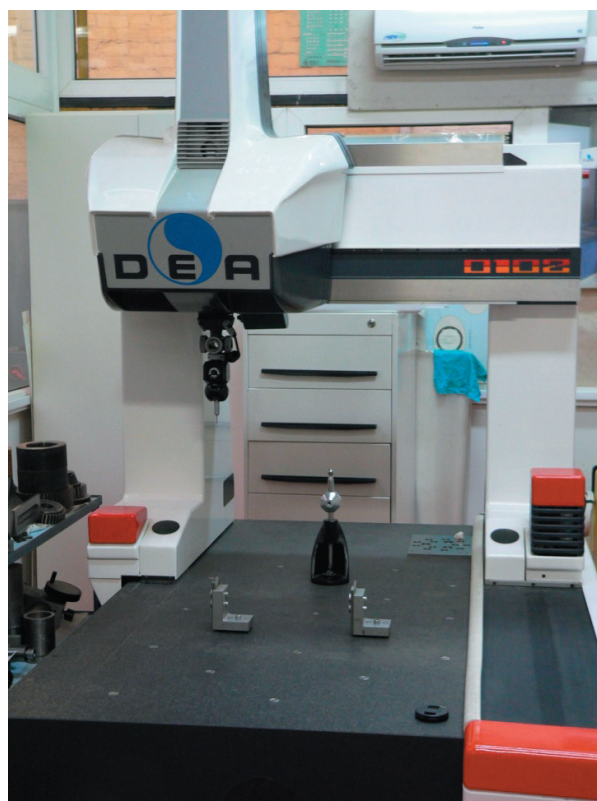
A csavarfelületek geometriai ellenőrzésének módszerei az idők folyamán sokat változtak, korszerűsödtek, egyre tökéletesedve fejlődnek napjainkban is. A csavarfelületek – mint háromdimenziós alakzatok – helyes geometriai ellenőrzési módszerének elméleti megalapozása, gyakorlati kivitelének kimunkálása, alkalmazása. Az igények kialakulásával esett egybe a számítástechnikának a mérés technikába történő bevonása is, amely létrehozta a koordináta-mérőgépek számítógéppel történő összekapcsolását, így a háromkoordinátás mérőgépek különböző automatizáltsági szintű típusait is.

2. HÁROMKOORDINÁTÁS MÉRÉS

A koordináta-mérés technika alapelve rendkívül egyszerű. A fizikai alapot a koordináta – mérőgép (1. ábra) biztosítja, amely a három egymásra merőlegesen álló tengelyével (X, Y, Z) megtestesíti egy térbeli koordináta-rendszert, egy alaprendszert és ezen tengelyek mentén elmozdulási lehetőséget biztosít a mérőtapintó számára. Az elvi alapot az jelenti, hogy bármely alak pontokkal leképezhető, ugyanakkor maga a pont X, Y és Z értékével egyértelműen ábrázolható egy koordináta-rendszerben.

A koordináta-mérés technika során a mérési művelet abban áll, hogy meghatározzuk a mérendő munkadarab különböző pontjainak X, Y és Z értékeit, majd ezen pontok segítségével kiszámítjuk a kívánt jellemzőt. Ehhez viszont az alábbi feltételek teljesülésére is szükség van:

- a három egymásra merőleges tengely mentén történő elmozdulást mérni kell, szükség van mindhárom irányban valamilyen hossz mérő rendszerre
- a kívánt pontokat fel kell tudni venni, szükség van tapintó rendszerre,
- a felvett pontokat ki kell értékelni, szükség van számítógépes háttérre.



1. ábra. DEA típusú 3 D-s mérőgép

*PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolc, Egyetemváros 3515, renata.horcsik@uni-miskolc.hu

**témavezető, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, Miskolc, Egyetemváros 3515, illes.dudas@uni-miskolc.hu

A mérőgépes mérés lényege: a munkadarab egy tapintó elemmel letapogatható. A munkadarabra szinte tetszés szerint fektethetők mérési pontok, s ezek felvéte-

le rövid idő alatt nagy pontossággal lehetséges. Elvileg egy koordináta mérőgép 3 külön-külön hossz mérőrendszert foglal magába, ortogonális mérőtengellyel, melyek egy derékszögű koordináta rendszert alkotnak. Ebben a koordináta-rendszerben a mérőtapintó középpont 3 koordinátája ismert [7].

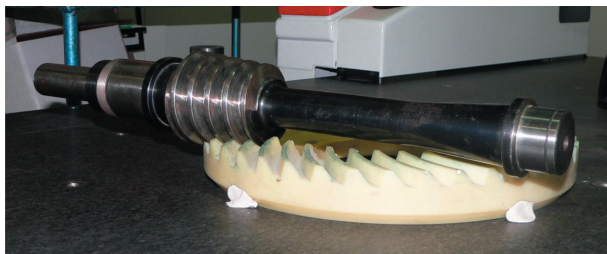
3. KÚPOS CSAVARFELÜLETEK (SPIROID HAJTÁSOK)

A kúpos csavarfelületek kinematikai elemeken leggyakrabban a kúpos csigák működő felületeiként használatosak. A kitérő tengelyvonalú fogazott hajtások területén eddig megvalósult nagy teherbírású, elsősorban ortogonális tengelyelrendezésű hajtások egyik kevésbé ismert – nem nagy múltra visszatekintő – típusa a spiroid hajtás [1., 3., 6.]. A spiroid hajtás bizonyos értelemben a csigahajtás és a hipoid hajtás közötti átmenet. A spiroid csiga olyan, mint egy kúpos menetes orsó. A csiga a kerék homlokán kapcsolódik, mint a kerék külső átmérőjén. A kerék nem burkolja körbe a csigát, mint egy hagyományos csigakerék esetén.

A spiroid hajtást kitérő tengelyek összekötésére használják. A spiroid hajtásban a csiga kúpos alakú és a kapcsolódó tag a tányérkerék. A 2. ábrán spiroid hajtópár látható.

A műszaki gyakorlatban a gyakoribb alkalmazási területek:

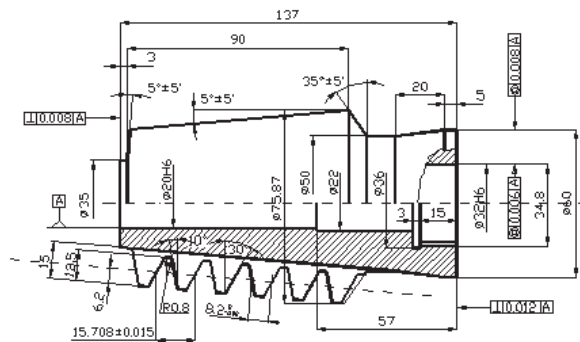
- a gépkocsik kormány műveinek kihajtása,
- anyagmozgató gépekben,
- robotok, szerszámgépek hézagatlanított csigahajtása.



2. ábra. Kúpos csigahajtás

A csiga és a csigakerék érintkező felületei egymást kölcsönösen burkolják, ezért a kereket simításkor olyan szerszámmal kell megmunkálni, illetve lefejteni, amely a csigával azonos geometriával rendelkezik.

Egyedi és kis-sorozat gyártásnál ütőkéssel, míg sorozatgyártás esetén lefejtő csigamaróval munkáljuk meg a csigakerékeket. A maró (3. ábra) homloklapja a csiga normál metszet profiljának felel meg.



3. ábra. Spiroidkerék lefejtőmaró kialakítása ($z_1=1$) [4]

A tányérkeréket generáló maró tengelymetszeti felületének egyenlete [5]:

$$r_2^{(t)} = M_{23} r_3^{(t)} = \begin{bmatrix} u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} \cos \psi + A^{(t)} \\ -u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} \sin \psi \cos \gamma_x + \left(u_c^{(t)} - \frac{r_{cm}^{(t)}}{\sin \delta_c^{(t)}} \right) \cos \delta_c^{(t)} \sin \gamma_x + B^{(t)} \\ u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} \sin \psi \sin \gamma_x + \left(u_c^{(t)} - \frac{r_{cm}^{(t)}}{\sin \delta_c^{(t)}} \right) \cos \delta_c^{(t)} \cos \gamma_x \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Az (1) –es összefüggéssel meghatározott felületi pont normál vektorának egyenlete [5]:

$$N_2^{(t)} = \begin{bmatrix} u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} \cos \delta_c^{(t)} \cos \psi \\ -u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} (\sin \delta_c^{(t)} \sin \gamma_x + \cos \delta_c^{(t)} \sin \psi \cos \gamma_x) \\ u_c^{(t)} \sin \delta_c^{(t)} (\cos \delta_c^{(t)} \sin \psi \sin \gamma_x - \sin \delta_c^{(t)} \cos \gamma_x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[5] publikáció tartalmazza a fenti összefüggéseket és a benne szereplő jelölések értelmezését.

4. A TÁNYÉRKERÉK MÉRÉSTECHNIKÁJA

A 3 koordinátás méréseknél az (1) és (2) egyenleteket használtuk fel és oldottuk meg azokat a mérési eredmények kiértékelése érdekében.

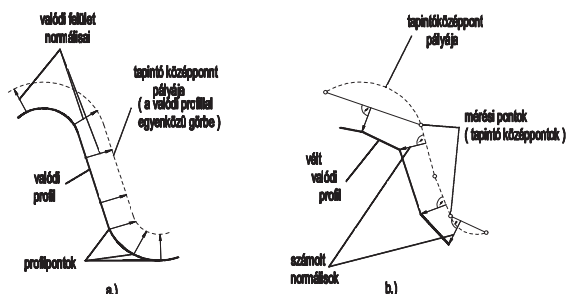
Méréstechnika

Ismert tény, hogy egy gömb és egy tetszőleges felület érintkezése esetén a felületnek az érintési pontban vett normálvektora átmegy a gömb középpontján.

A CNC vezérlésű mérőgép alap asztallal való alkalmazása esetén a mérendő felület meghatározására az ún. „Scanning” technikát használjuk.

A gömbtapintó középpontjának koordinátáit meghatározott osztásonként rögzíti a gép így bármilyen felületet fel tud térképezni. A gömbtapintó középpontja által leírt felületről a tényleges felület meghatározása csak közelítő jelleggel lehetséges (4. ábra).

- A tényleges felületi pontok közelítő meghatározása a következők szerint történik:
- a tapintógömb által meghatározott ponthalmazra kiegyenlítő görbéket, ill. kiegyenlítő felületet határoznak meg,
- ezután a kiegyenlítő felület normálvektorai mentén, a felületről r tapintósugár távolságra meghatározhatók a „tényleges” felület pontjai [4].



4. ábra

Az érintési pont meghatározása [4]

- valódi felület normálvektorán helyezkedik el a tapintógömb középpontja
- a tényleges érintési pontot a kiegyenlítő felület normálvektorán határozzák meg

5. MÉRÉS VÉGREHAJTÁSA

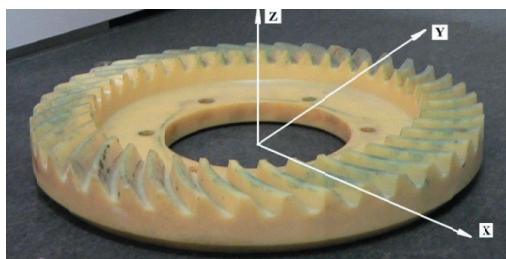
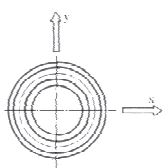
A mérést egy spiroid csigahajtás tányérkerékén végeztük el. A tányérkeréken a következőket mértük:

- kúpszög, fogosztás, profilalakhiba.

A mért értékek és ezek elméleti értékeit összevetve, az eltérések alapján következtetünk a tányérkerék minőségére.

5.1. Munkadarab koordináta rendszer felvétele a tányérkeréken

A méréshez a tányérkeréket a mérőgép asztalán rögzítjük. A koordináta rendszer (5. ábra) felvételéhez először fel kell venni egy síkot (3 pont), mely a mérőgép asztalának síkja lesz. Majd egy egyenest (tányérkerék középvonala) és egy pontot határozunk meg a munkadarabon. Ezek a geometriai elemek úgy helyezkednek el, hogy az általuk meghatározott síkok egymásra merőlegesek, így kapunk egy metszéspontot, mely a munkadarab koordináta rendszer origója lesz.



5. ábra X, Y és Z tengely meghatározása

5.2. Tányérkerék kúposágának (kúpszögének) értelmezése

Minden egyes fejszalag felületet meg kell érinteni (a legnagyobb átmérőtől befelé indulva) a tapintóval a tányérkeréken. A felvett pontokra a szoftver segítségével egy regressziós egyenest illesztünk.

A regressziós egyenes és a sík (amelyen felfekszik a tányérkerék) által bezárt szöget a program segítségével meg lehet határozni. Így megkapjuk a kúp szögét (átlagérték).

Az előírt érték: $9^{\circ} 55'$

A mért kúpszög értéke: $9^{\circ} 50'$

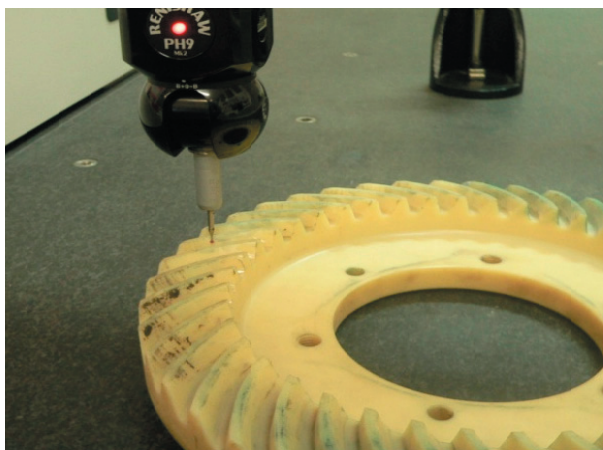
Tehát megfelelőnek tekintem a kapott kúpszög értékét.

5.3. Profilalak vizsgálata (6., 7., 8. ábra)

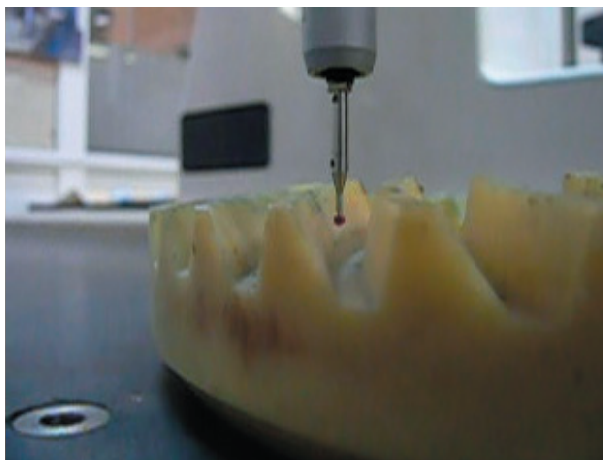
Tengelymetszeti profilalak vizsgálat.

A mérést SCAN programozással végeztük (felület szkennelés).

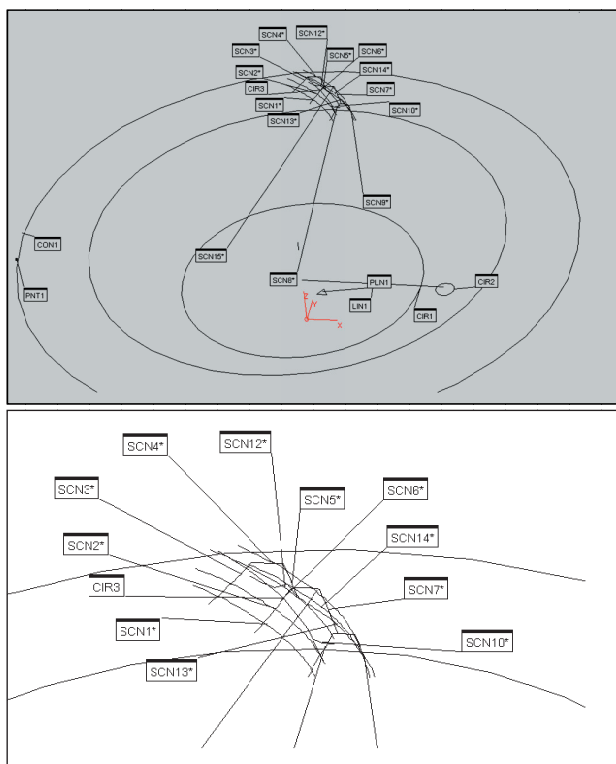
Az alábbi paramétereket adjuk meg: a kezdőpontot, tapintással; szkennelés irányát (a kezdőpont és egy adott irányban következő pont koordinátáiból képzett irányvektorral, tapintással); az utolsó pontot, tapintással.



6. ábra. Felületi szkennelés



7. ábra. Profilalakhiba mérés



8. ábra. A tányérkerék egy (szkennelt) foga

Az ellenőrzött profilalakat, illetve annak képét összevegtük az eredeti profilalakkal, mely alapján azt mondhatjuk, hogy megfelel a mért profilalak az előírtnak.

5.4. Fogosztás mérése

Szintén a SCAN programozást választjuk a mérés elvégzéséhez (felület szkennelés) (9. ábra).

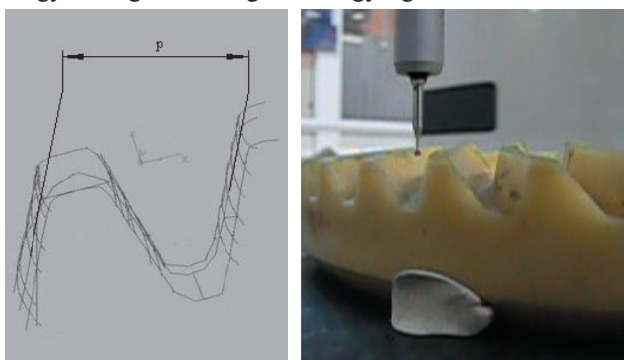
Ugyanazon paramétereket adjuk meg, mint az előző szkennelő programozás során: kezdőpont, irányvektor, végpont.

A tengelymetszetben szkennelt párhuzamos fogdalakra érintő egyeneseket illesztünk, és a távolságukból meghatározzuk a fogosztás nagyságát.

Az előírt fogosztás értéke: 15,708

A mért értékekből kapott fogosztás nagysága: 15,717 mm.

A mért fogosztás értéke túrésen belül helyezkedik el, vagyis a fogosztás megfelelő nagyságú.



9. ábra. A tányérkerék fogosztásának meghatározása

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kifejlesztettünk egy körasztal alkalmazása nélküli mérési eljárást csavarfelület mérésére, kúpos csigahajtás tányérkeréke esetére. Felírtuk a csigakerék lefejtőszerszám felületének egyenletét.

Elvégeztük a spiroid csigahajtás tányérkerékének kúposság vizsgálatát, profilalak elemzését és fogosztásának meghatározását.

A 3D-s méréstechnika alkalmazásával pontosabb eredményt kaptunk a hagyományos ellenőrzési módszerekkel szemben, mert ez a mérési eljárás teljesen automatizált. Ha a mérőgépet az üzemben a gyártórendszerbe integráljuk, rugalmas mérőközpontként is működhet.

7. SUMMARY

A measuring procedure, for measuring teeth of crown wheel of spiroid driving without using radial table, has been developed. The equation for the determination of hob profile cutting the crown wheel was derived. The conicity of crown wheel of spiroid driving, the pitch and the profile shape was analysed.

By using 3D measuring technique we got more accurate results compared to conventional measuring technique, due to the automation of this new method. Integrating the measuring machine into a production system in the workshop, it can work as a flexible measuring centre as well.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka a K 63377 sz. OTKA kutatási projekt támogatásával készült. Témavezető: Dr. Dudás Illés

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BÁNYAI K.: Hengeres csigák gyártás – és geometriája és ellenőrzése Egyetemi doktori disszertáció, kézirat 1987
- [2] K. BÁNYAI: Investigateon of connection of modified spiroid drive pairs, ICT-2004 XI.th International Conference on Tools, Miskolc, 2004.
- [3] DR. DUDÁS I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives. Penton Press, London, 2000. (ISBN 1 8571 8027 5)
- [4] DR. DUDÁS I.: Csigahajtások elmélete és gyártása Budapest, Műszaki könyvkiadó, 2007. (ISBN 978 963 16 6047 0)
- [5] F. L. LITVIN – M. DE DONNO: Computerized design and generation of modified spiroid worm-gear drive with low transmission errors and stabilized bearing contact, Comp. Meth.App.Mech. Engrg. 162, 1998. pp.187-201.
- [6] HEGYHÁTI, J: Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben. Diss. A. TU. Dresden, 1988. p. 121.
- [7] R. HÖRCSIK: 3D measurement with two different software, microCAD 2005 Proceedings of International Scientific Conference, Section M1: Production Engineering and Manufacturing Systems, March 10-11. 2005., University of Miskolc, Hungary

INDÍTÓMOTOROK LEHETSÉGES MEGOLDÁSVÁLTOZATAINAK MEGHATÁROZÁSA HAGYOMÁNYOS TERVEZÉSMÓDSZERTANI ESZKÖZÖKKEL

DETERMINATION OF ACCEPTABLE SOLUTION VARIANTS FOR STARTER MOTORS BY TRADITIONAL CONCEPTUAL DESIGN METHODS

Nagy Lajos^{*}, Dr. Jakab Endre^{**}

JELÖLÉSJEGYZÉK

S _T	Részfeladat
S _{TA}	Energiaforrást igénybe vesz részfeladat
S _{TB}	Berendezést a főtengeleyel összekapcsol részfeladat
S _{TC}	Főtengelyt hajt részfeladat
S _{FE11}	Funkciót vált részfunkció
S _{TE}	Főtengely-berendezés kapcsolatot vezérel részfeladat
S _F	Részfunkció
S _{FA}	Tápegységről vezérel részfunkció
S _{FB11}	Közvetlenül energiát átad részfunkció
S _{FB12}	Nyomatékot közvetít részfunkció
S _{FB21}	Axiális mozgást biztosít részfunkció
S _{FB22}	Radiális mozgást biztosít részfunkció
S _{FC}	Forgó mozgást létrehoz részfunkció
S _{FD}	Nyomatékot változtat részfunkció
S _{FE}	Blokkol részfunkció
S _{TD}	Nyomatékot változtat részfeladat
S _{FE12}	Nyomatékot határol részfunkció
T _S	Elméleti megoldásmező
T _{SM}	Módosított elméleti megoldásmező
S _{FB1}	Kapcsolatot létrehoz részfunkció
C	Összeférhetőségi mátrix
S _{FB2}	Kapcsolatot működtet részfunkció
W _{gj}	Összérték
g _i	súlyozási tényező
w _{ij}	értékelési osztályzat
w _{max}	maximális értékelési osztályzat

ABSTRACT

The goal of this paper to present an industrial project which can be solved by "classical" design methods. Many theories and methods were and have been developed during the last few decades. Methods to support product development cover well-known paradigmatic approaches and models [4], [6], [7], [9], [10], [11], [13],[16]. In a product development process or design process, conceptual design is one of the most important phases in which customer needs and technical requirements are translated into design solutions. Conceptual design is a component part of a design process during which designers first create new ideas and then translate them into a design structure by synthesis [5]. First of all we defined the formulation of the task and determined the basic functions. From chapter 3 we are looked for solution variants and used to explore the theoretically possible solutions at principle impact level. It was found that the solution field obtained could be divided into three large groups, such as starters controlled by hydraulic, pneumatic, and electric energy sources. We also determined the development direction and finally designed a new possible solutions.

1. BEVEZETÉS

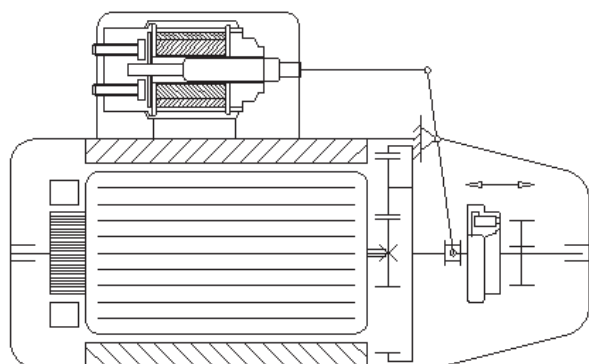
Napjainkban a nemzetközi piaci verseny, a gyorsuló műszaki technológiai fejlődés és a növekvő vásárlói követelmények hatására a vállalatok számára döntő tényezővé vált új versenyképes termékek kifejlesztése. Az egyre magasabb igények hatására alakult ki a módszeres géptervezés tudománya, ahol számos, az ipari gyakorlatban is elterjedt és kiforrott alapelv és módszer létezik [1], [2], [3] [9], [12], [13], [15].

Jelen cikk célja, hogy bemutassa egy konkrét ipari feladat „hagyományos” tervezésmódszertani eszközökkel történő megoldását. A projekt 2006-ban egy élő ipari igény alapján jött létre, amelynek célja egy új, a

^{*} tanársegéd, Miskolci Egyetem Robert Bosch Mechatronikai Tanszék, nagy.lajos@uni-miskolc.hu

^{**} témavezető, egyetemi docens Miskolci Egyetem Robert Bosch Mechatronikai Tanszék, jakab.endre@uni-miskolc.hu

technika állásának megfelelő személygépjármű indítómotor fejlesztése és kivitelezése. A cikkben foglaltak ehhez kapcsolódnak.



1. ábra: Indítómotor kinematikai vázlata

A feladat kidolgozásának alapját a különböző tervezői iskolák eljárásai, módszerei szolgáltatták [3], [15]. Valamennyi tervezői eljárás közös vonása, hogy minden esetben a komplex feladatot, problémát rendre részfeladatokra, részproblémákra bontva, és azokat külön-külön kidolgozva jut megoldásra. Közös még, hogy az egyes eljárások három egymástól élesen el nem határolható szakaszra bonthatók, amelyek: a feladat megfogalmazása, a funkcionális és a kialakítási (megtervezés) szakasz. A kidolgozandó feladat megoldására a [3] által kidolgozott folyamattervet és a Franke-féle kereső mátrixot vettük alapul [13]. A kereső mátrix oszlopaiban a tervezői eljárások fontosabb lépései és módszerei találhatóak, míg a mátrix soraiban a tervezés során alkalmazható alaptevékenységek. A sötétszürkével jelzett téglalapok jelentik az egyes lépésekhez tartozó leginkább javasolt és alkalmazandó módszereket és alaptevékenységeket. A világosszürke téglalapok a javasolt, vagy ún. kiegészítő tevékenységeket, míg az üres téglalapok a nem alkalmazható tevékenységeket jelentik. A 2. ábrán a mátrixban beke-reteztett rész jobboldalt külön ki van emelve.

Ahhoz, hogy átlátható képet kapjunk az indítómotorokról, célszerű első lépésként egy átfogó irodalom- és szabadalomkutatást végezni. A különböző gépjármű villamossági szakirodalmak [18], [19], [20] az ún. csúszo fogaskerekes, csúszo armatúras és a kétfokozatú csúszo fogaskerekes indítómotorok szerkezeti elemzését és működését taglalják. A magyar, amerikai és az európai szabadalmi hivatal internetes keresőjének segítségével több száz szabadalmi oltalom található ebben a témakörben. Tudományos alapokon alapuló új konstrukció fejlesztéséről a kutatás során nem találkoztunk, ezért a feltárt szabadalmi leírásokat elemeztük és ezeket megoldás katalógusba foglaltuk.

A FELADAT MEGFOGALMAZÁSA

A belsőégésű motorok a XIX. század végén jelentek meg, amelyeket járművek hajtására alkalmaztak. Ezek a járművek még petróleummal működtek, és külső, mechanikus energiaforrással indultak (betolással, lejtőn való felgyorsulással, kézi indítókar, kurbli használatával). A kézi indítás „tradíciója” majd egy évszázadig, egyre csökkenő mértékben az 1980-as évekig megtalálható volt a járműveknél. Későbbiekben a villamos energiaellátó berendezés használatával előtérbe kerültek az elektromos indítóegységek is, amelyeket indítómotorok (1. ábra) nevezünk. Az indítómotor feladata, hogy a belsőégésű motor főtengelyét álló állapotából az n_c gyújtási fordulatszámra gyorsítsa fel. A belső égésű motor működése akkor válik önfenntartóvá, ha főtengelyének fordulatszáma nagyobb, mint a gyújtási fordulatszám [5], [6], [7].

A kitűzött feladatot értelmezve definiáltuk az „új” és a „technika állása” fogalmakat. A magyar szabadalmi hivatal e fogalmakat a következőképpen határozza meg. – új: a szakember számára nem nyilvánvaló, iparilag alkalmazható gondolat, amely egy adott műszaki probléma gyakorlati megoldását jelenti.

method selection by assignment to working steps				step of conceptual design	assigned design methods	
steps of conceptual design	basic activity	methods of conceptual design				
abstracting to identify the essential problem		abstract and problem formulation		abstracting to identify the essential problem	abstraction and problem formulation	
establishing function structures		abstract function structure		establishing function structures	abstract function structure	
searching for working principles		brainstorming		searching for working principles	brainstorming specific function structure design catalogue conflict modelling (TRIZ) synectics	
combining working principles		specific function structure	combining working principles			specific function structure morphological box
selecting suitable working structures		design catalogue		selecting suitable working structures	cost-benefit analysis evaluating by points	
firming up into principle solution variants		conflict modelling (TRIZ)		firming up into principle solution variants	literature research	
evaluating of principle solution variants		synectics		evaluating of principle solution variants	cost-benefit analysis evaluating by points	
		morphological box	combining working principles			specific function structure morphological box
		cost-benefit analysis	selecting suitable working structures			cost-benefit analysis evaluating by points
		evaluating by points	firming up into principle solution variants	literature research		
		literature research	evaluating of principle solution variants	cost-benefit analysis evaluating by points		

congruence of basic activities		
prioritising	abstracting	evaluating
documenting	analysing	presenting logical chains
varying	informing	finding analogies
designing	combining	substantiating
selecting		

2. ábra: Franke-féle keresőmátrix

– a technika állása: ehhez a fogalomhoz tartoznak mindazok a megoldások, amelyek a bejelentés napját megelőzően bárki számára hozzáférhetővé váltak.

A tervezés első lépése a 2. ábra alapján a feladat absztrakciója. A feladatot úgy célszerű megfogalmazni, hogy az csupán azt a célt tartalmazza, amelyet a tervezés során létrehozott műszaki alkotásnak teljesítenie kell.

Ezek alapján a feladatot a következőképpen definiáltuk: „**Személygépjárművek belső égésű motorjainak indítására alkalmas új technikai elvű berendezés tervezése**”

Ez a megfogalmazás a szakemberek számára megadja azokat a szempontokat, amelyeket a tervezés során figyelembe kell venni. Nagyon fontos, hogy már ebben a szakaszban megfogalmazzunk alapvető követelményeket (1. táblázat), amelyek a kiindulási pontot képezik a kitérített feladat további kibontásához. A követelmények a [17] irodalom alapján négy nagy csoportra bonthatók:

– Funkcionális vagy alapkövetelmények (meghatározzák a feladat tulajdonképpeni célját, mindig az adott feladathoz rendelték).

– Általános követelmények (indítómotorokkal szemben támasztott általános fő követelmények).

– Kiemelt az adott korra jellemző követelmények (a fejlesztési stratégiákat leginkább befolyásoló követelmények).

– Minden gépre jellemző követelmények.

Az irodalom-, és szabadalomkutatás alapján a belső égésű motor beindításához olyan hatást kell létrehozni, amely a főtengelyen keresztül történhet. Ez a hatás azonban nem biztos, hogy állandó lehet. A belsőégésű motor megindulása után a hatást létrehozó berendezést esetleg olyan nagy fordulatra kényszerítené, amely túllépi a megengedett sebességet, és a szerkezet épsége veszélybe kerülne.

A cél tehát egy olyan berendezés tervezése, amely a belsőégésű motor főtengelyét kellő fordulatszámú és nyomatékkal meghajtja, majd a keverék meggyújtása után az indító berendezés az esetleges károsodások megelőzése érdekében alaphelyzetbe áll.

1. táblázat: Követelményjegyzék

A feladattal szemben támasztott követelmények	
Funkcionális követelmények	belsőégésű motor indítása
	új technikai megoldás
Általános követelmények	nagyszámú kapcsolás, rövid kapcsolási idő
	építészkevény elv, moduláris kialakítás
	alacsony zajszint
Kiemelt követelmények	meghibásodás esetén gyors javítási, szerelési lehetőség vagy cserélhetőség
	sokféle motoron könnyű illeszthetőség
	szélsőséges időjárás esetén is működőképesség
Minden gépre jellemző követelmények	megbízhatóság
	kis helyszükséglet és súly
	nagy élettartam
	gyártási követelmények
	iparjogi követelmények
egyéb (pl. szervizelési) követelmények	

A FUNKCIONÁLIS TERVEZÉS SZAKASZA

A tervezési folyamat következő szakaszában, a funkcióstruktúra felállításával, a megoldási elvek keresésével és kombinálásával meghatározhatóak az alapvető elvi megoldások.

A 0. fejezetben megfogalmazott feladatot összefeladatnak nevezzük, amelyet célszerű olyan egyszerű részfeladatokra visszavezetni, amelyekre már léteznek jól bevált megoldások, és annyi darabra, hogy számuk még áttekinthető legyen. Ezek a részfeladatok esetleg sok más műszaki berendezésnél bevált megoldásként jelentkeznek. Ezután az egyes részfeladatokat részfunkciókra, a részfunkciókat az azokat megvalósító hatásokra, hatáshordozókra szükséges bontani.

3.1. Funkcióanalízis, a funkcióstruktúra meghatározása

A funkció-meghatározások pontos leírásához nagy segítséget nyújt a műszaki gyakorlatban előforduló cselekvéseket kifejező igék gyűjteménye, amely 220 szót tartalmaz [1], [7]. Ezek alapján az egyes részfeladatok és részfunkciók egyszerűen meghatározhatók. A 3. ábrán látható az összfeladatot teljesítő részfeladatok és részfunkciók, és az azokat teljesítő hatások. A funkcióstruktúra egyes blokkjaiban aláhúzás jelöli a cselekvést kifejező igéket. A következőkben az egyes részfeladatokat és részfunkciókat a szövegben kiemeltük. Azon blokkoknál, ahol 4 szaggatott vonal van feltüntetve, az rendre a mechanikus, hidraulikus, pneumatikus, villamos blokkokhoz tartozó csatlakozás jelenti.

Számba kell venni, hogy milyen energiaforrások létezhetnek, illetve melyek azok az energiaforrások, amelyek az összfeladat megoldására alkalmasak.

A 2. ábra alapján az **energiaforrást igénybe vesző** részfeladat gépjárművek esetén, a gépjárműben elhelyezhető tápegység, amely nem csupán a belsőégésű motor beindításához szükséges, hanem más, a feladathoz nem tartozó funkciót is ellát.

Minden egyes részfeladatot, részfunkciót létrehozó hatáshordozó, az energiahordozók fajtája alapján csoportosítható. Így például megkülönböztethetők mechanikai (merev és rugalmas testek), hidraulikus (folyadékok), pneumatikus (levegő) és villamos (elektronok) tápegységek. Mechanikai energiaforrásként leggyakrabban lendítőkerekes energiatárolókat alkalmaznak. A mai technika állása szerint léteznek már szupravezetős lendítőkerekes energiatárolók is, melyeknek a hatásfoka eléri a 96%-ot. A mechanikai, hidraulikus és pneumatikus tápegységeknek biztosítani kell a megfelelő elsődleges energiaforrást, amelyek rendszerint villamos tápegységek. A napjainkban alkalmazott indítómotorok villamos akkumulátorról kapják meg a szükséges energiát.

A **berendezést a főtengellyel összekapcsol** részfeladat két részfunkciót tartalmaz. A **kapcsolatot létrehoz** részfunkció a kapcsolat típusára utal (pl. lendítőkerek fogaskoszorú-fogaskerék kapcsolat), amely lehet köz-

vetlen és közvetett energiaátadás. A **kapcsolatot működtet** részfunkció a kapcsolat létrehozásának a módjára utal (pl. axiális irányú működtetés).

A **főtengelyt hajt** részfeladat részfunkciója a forgó mozgás létrehozása. A forgó mozgások létrehozására alkalmas berendezésekre rendelkezésre állnak jól bevált tervezői katalógusok [1]. Ezeknek a katalógusoknak az előnye, hogy már meglévő rész megoldásokat tartalmaznak, és a feladatban megfogalmazott célnak a legjobban megfelelőt csak ki kell választani.

Léteznek olyan megvalósított megoldások, hogy a már meglévő főtengely-berendezés kapcsolaton kívül, még külön nyomatékerősítő egységet (pl. bolygómuövet, előtéttes hajtást) építenek be. Ezért a **nyomatékot változtat** részfeladatnak - amely egyben részfunkció - a célja, hogy minél nagyobb nyomatékot tudjunk átadni a főtengelynek, illetve a berendezés méretei csökkenjenek.

A belsőégésű motor beindítása után, a **berendezés**ünket valamilyen módon **vezérelni** (alaphelyzetbe állítani) kell. Egyrészt azért, hogy a következő indításnál a folyamat megismételhető legyen, másrészt az esetleges károsodások megelőzésére. Egy berendezést akkor szoktak alaphelyzetbe állítani, ha valamilyen kényszerkapcsolatban van egy másik berendezéssel (jelen esetben a főtengellyel).

A **funkciót vált** részfunkció, szorosan összeköthető a közvetlen meghajtással. Ilyen esetekben a berendezés nem állítható le.

3.2. Megoldási elvek keresése, kezelése

A funkcióanalízis alapján az egyes részfeladatokat megvalósító részfunkciók között gráfszerű hierarchia (funkcióstruktúra) építhető fel (3. ábra). Ahhoz, hogy a kitűzött feladat követelményeinek megfelelő megoldást kapjunk, célszerű ún. morfológiai dobozba (mátrixba) foglalni az egyes hatásokat (2. táblázat). A mátrixban az egyes sorokhoz tartozó mezőket összekapcsoljuk a következő sor elemeivel. Minden egyes részfunkcióhoz az egyes enrgiahordozókat hozzárendelve és összekapcsolva a hatáslánc lehetséges kombinációi adódnak.

2. táblázat: Morfológiai mátrix

S _{FA}		A1	A2	A3	A4
S _{FB}	S _{FB11}	B11.1	B11.2	B11.3	B11.4
	S _{FB12}	B12.1	B12.2	B12.3	B12.4
	S _{FB21}	B21.1	B21.2	B21.3	B21.4
	S _{FB22}	B22.1	B22.2	B22.3	B22.4
S _{FC}		C1	C2	C3	C4
S _{FD}		D1	D2	D3	D4
S _{FE}	S _{FE11}	E11.1	E11.2	E11.3	E11.4
	S _{FE12}	E12.1	E12.2	E12.3	E12.4

Az S_{FA}, ..., S_{FE} jelöléseket a 3. ábra és a jelölésjegyzék értelmezi. A jelölések utolsó számjegyei - 1-től 4-ig - pedig rendre a mechanikus, hidraulikus, pneumatikus, villamos hatáshordozókat jelöli.

Így például az S_{FB21.1} jelentése: **Axiális kapcsolatot biztosít mechanikus energiaátadással**. A mátrix alapján az 1. ábra alatti megoldás funkcióstruktúrája a következő: A4-B12.1-B21.1-C4-D4-E12.1

A lehetséges elvi megoldások száma az alábbi összefüggés szerint:

$$T_S = S_{FA} \cdot S_{FB11} \cdot S_{FB12} \cdot S_{FB21} \cdot S_{FB22} \cdot S_{FC} \cdot S_{FD} \cdot S_{FE11} \cdot S_{FE12} = 4^9 = 262144 \quad (1)$$

Könnyen belátható, hogy az S_{FB11} és S_{FB12}, S_{FB21} és S_{FB22}, illetve az S_{FE11} és S_{FE12} részfunkciók között vagy kapcsolat van, ezért az elvi megoldások száma (2) szerint

$$T_S = S_{FA} \cdot (S_{FB11} + S_{FB12}) \cdot (S_{FB21} + S_{FB22}) \cdot S_{FC} \cdot S_{FD} \cdot (S_{FE11} + S_{FE12}) = 32768 \quad (2)$$

A funkcionális tervezési fázisban az alacsony konkretizáltsági fokon álló megoldási elvek tulajdonságai általában még nem ismertek olyan mértékben, hogy a kombináció és az optimalás, matematikai módszerekkel elvégezhető legyen.

A megoldási elképzelések kialakításához gyakran nem elegendők csak a fizikai összefüggések, mivel a geometriai (gyártástechnológiai, szerelési, inkompatibilitási, stb.) viszonyok is korlátokat szabhatnak, és adott esetben kizárják az összeférhetőséget. Bonyolultabb rendszereknél a tervezés ezen fázisában a változatok között a tervezőknek kell dönteni, ún. redukciós kiválasztási eljárással, amelyet a szelekció és az előnyben részesítés tevékenységek jellemeznek:

- A feladattal és/vagy önmagán belül összeférhető.
- A követelményjegyzék előírásait kielégíti.
- A hatékonyság, méret, elrendezés figyelembevételével a megvalósíthatóságot figyelembe veszi.
- Részfunkciók fontosság szerinti rendezése.
- Az első kombináláskor a kevésbé fontos részfunkciókat kivenni.
- Az első kombináláskor a kevésbé fontos rész megoldásokat kivenni.

Az A1 mechanikus energiaforrás hatáshordozó rész megoldása lehet egy rugó, lendítőkerék, vagy az emberi erő. Ezt a megoldást rögtön el is vethetjük, mivel a kor és a technika követelményeinek nem felelnek meg

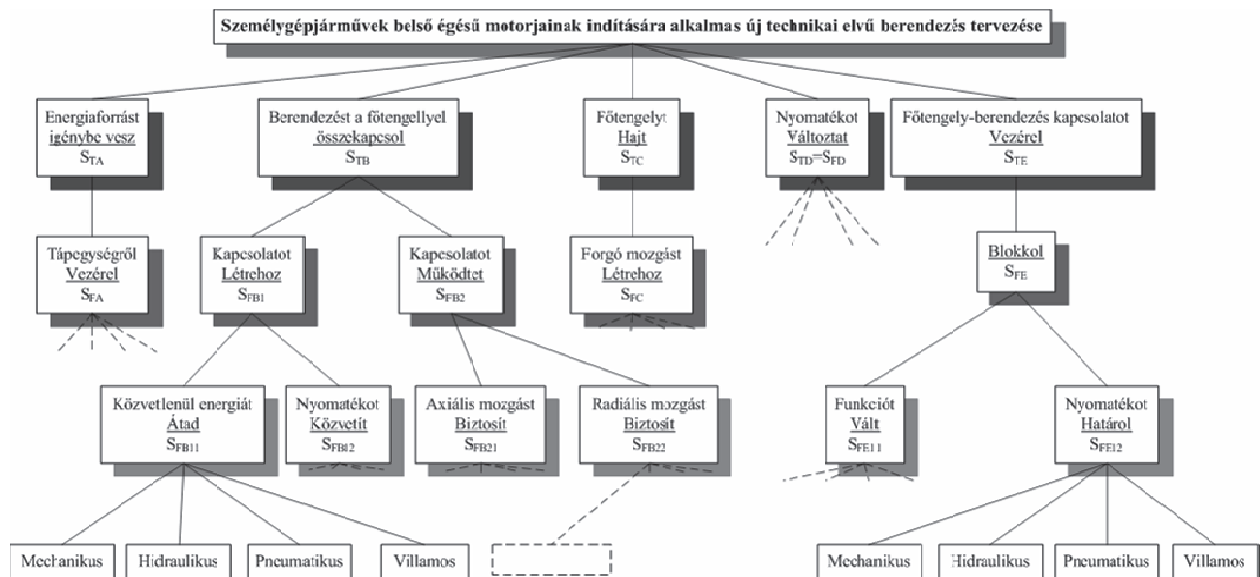
Ezek alapján az S_{FB21} és S_{FB22} részfunkciókat - azaz a berendezés - belsőégésű motor kapcsolat létrehozásának módját ebben a fázisban elhagytuk -, illetve az egyes részfunkciókat meg nem valósító hatásait (B12.4, C1, D4, E1.1) a 2. táblázabeli morfológiai mátrixból kivettük és az egyes részfunkciók sorrendjét az alábbiak szerint rendeztük:

3. táblázat: Módosított morfológiai mátrix

S _{FA}		A2	A3	A4
S _{FC}		C2	C3	C4
S _{FD}		D1	D2	D3
S _{FB}	S _{FB12}	B12.1	B12.2	B12.3
S _{FE}	S _{FE12}	E2.1	E2.2	E2.3

Az így kapott lehetséges megoldások száma:

$$T_{SM} = (S_{FA} \cdot S_{FC} \cdot S_{FD} \cdot S_{FB12} \cdot S_{FE12}) \cdot 2 = (3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4) \cdot 2 = 864 \quad (3)$$



3. ábra: Funkcióstruktúra

Az elméletileg lehetséges megoldásmezőt a megvalósítható megoldásokra célszerű korlátozni. Két összeférhető hatáshordozó megoldási lehetőségeit egy mátrix fejoszlopába és fejsorába rendezve, a kombináció jellemzését (lehetetlen vagy meg nem valósítható, lehetséges kombináció) pedig a mátrixmezőbe feltüntetve, az összeférhetőség egymás után sorban könnyen ellenőrizhető. A mátrixban:

- Csak összeférhető funkciókat szabad kombinálni.
- Csak az a kombináció fejleszthető tovább, amelyik a követelményjegyzék előírásait kielégíti.
- A kedvezőnek tűnő kombinációkat kiválasztásuk után analizálni kell, hogy a többihez viszonyítva miért ezek alkalmasak a továbbfejlesztésre.

Az összeférhetőségi mátrix (4. ábra) alapján az összefeladat lehetséges elvi megoldásai fa diagramba rendezhetők (5.a-c ábrák) amely az életképtelen (sraffozott négyzetek) és a lehetséges elvi megoldásokat (üres négyzetek) tünteti fel A lehetséges elvi megoldások száma 28.

Az S_{FB21} és S_{FB22} részfunkciókat a megoldási elvek kezelésénél elhagytuk, viszont a további elemzéseknél szükséges, ezért a lehetséges elvi megoldások száma $T_{SM} = 2 \cdot 4 \cdot 28 = 224$, amelyek három különböző csoportra bonthatók:

- Hidraulikus tápegységről vezérelt berendezés (A2 ág): $T_{SMA2} = 2 \cdot 4 \cdot 12 = 96$ elvi megoldás.
- Pneumatikus villamos tápegységről vezérelt berendezés (A3 ág): $T_{SMA3} = 2 \cdot 4 \cdot 12 = 96$ elvi megoldás.
- Villamos tápegységről vezérelt berendezés (A4 ág): $T_{SMA4} = 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32$ elvi megoldás.

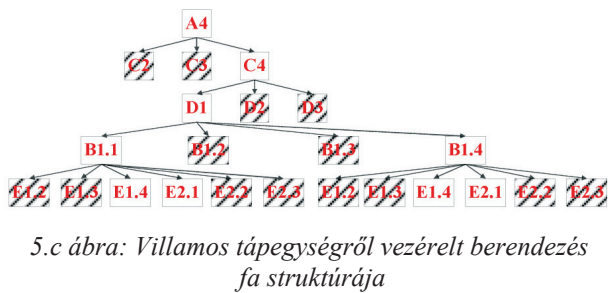
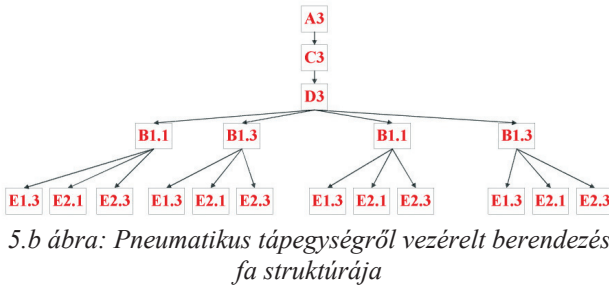
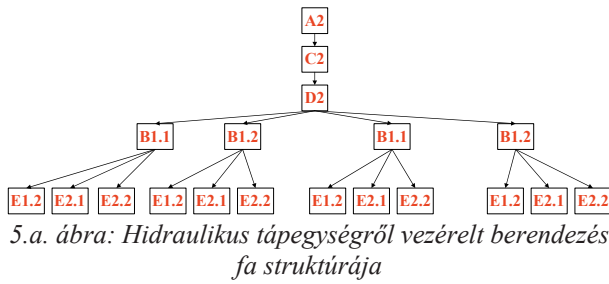
	A2	A3	A4	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1.2	E1.3	E1.4	E2.1	E2.2	E2.3
A2																			
A3																			
A4																			
B1.1																			
B1.2																			
B1.3																			
B1.4																			
C2																			
C3																			
C4																			
D1																			
D2																			
D3																			
E1.2																			
E1.3																			
E1.4																			
E2.1																			
E2.2																			
E2.3																			

4. ábra: Összeférhetőségi mátrix

3.3 Megfelelő változatok kiválasztása

A hidraulikus és pneumatikus tápegységeknél biztosítanunk kell a megfelelő elsődleges energiaforrást, amelyek rendszerint villamos tápegységek. Mivel ez már egy jól kiforrott megoldás, ezért ettől a részfunkciótól nem érdemes eltérni. Az ötletet azonban nem vetjük el azonnal, a későbbiekben visszatérhetünk rá. Mivel a belsőégésű motort nem lehet átalakítani, azaz sem a lendítőkereket, sem pedig a forgattyús tengelyt nem lehet módosítani, az A4 ág elvi megoldásainak száma ebből adódóan 64-ről 2-re csökkent. Az „Elvi megoldás 2” változat (5. táblázat) egyes részfunkcióit megvalósító hatáshordozóira dolgoztunk ki különböző megoldásváltozatokat. Ezeket rendre tervezői katalógusba foglaltuk (terjedelmi okokból az egyes részfunkciókra kidolgozott

tervezői katalógusokat itt nem közöljük), amelyből kiválasztásra kerültek az egyes részmegoldások. Ebből 14 megoldásváltozatot kaptunk.

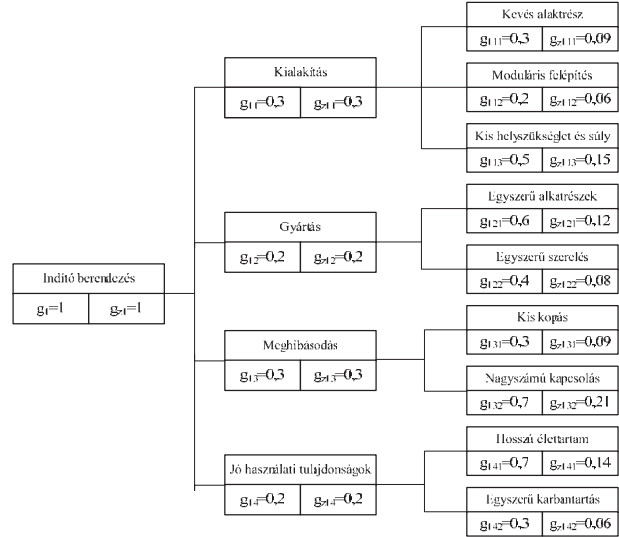


4. táblázat. A vizsgálandó elvi megoldások funkcióstruktúrája

Elvi megoldás 1	A4-B11.4-B21.1-C4-D4-E11.4
Elvi megoldás 2	A4-B12.1-B21.1-C4-D4-E12.1

A megfelelő megoldásváltozatok kiválasztására alkalmazott módszerek a rendszertechnika használati értékanalízise (UVA), és a VDI 2225 irányelvek szerint végzett értékelés [8].

Az értékelés a megoldás értékét, használhatóságát, vagy erősségét állapítja meg. Az értékelés alapja, hogy a megoldásváltozatokat egymással is, és egy ismert és alkalmazott „ideális,” megoldással hasonlítottuk össze. Az értékelési feltételek meghatározásának legfontosabb kiindulási alapja a követelményjegyzék. Az értékelési feltételek felállításánál fontos, a feltételek jelentőségének (súlyának) a megoldás összértékére vonatkozó ismerete. A súlyozás már a követelményjegyzék kívánásainál is elvégezhető, ha a követelményjegyzék felállításánál rangsorolhatók a kívánások. A súlyozó tényező valós pozitív szám, amely megadja az értékelési feltételek egymáshoz viszonyított jelentőségét. A g_{zi} súlyozási tényezők 0 és 1 közötti számok és az összes értékelési feltételek tényezőinek összege egyenlő 1-el. A 6. ábra tartalmazza a megoldásváltozatok értékelési feltételeit és súlyozási tényezőit.

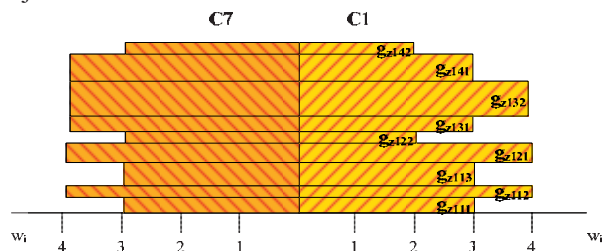


6. ábra: Értékelési kritériumok

Az összérték meghatározása a (4) összefüggés szerint:

$$Wg_j = \frac{\sum_{i=1}^n g_{zi} \cdot w_{ij}}{w_{max} \cdot \sum_{i=1}^n g_{zi}} \quad (4)$$

A gyenge pontok az egyes értékelési feltételekre vonatkozó átlagon aluli értékek alapján ismerhetők fel. A megoldásváltozatok gyenge pontjainak felismerésében segít a részértékek grafikus ábrázolása (7. ábra). A sávok hossza az érték nagyságának, a sávok szélessége, pedig a súlyozás mértékének felel meg. A bevonalkozott terület a megoldásváltozatok összértékét adja. Egyértelműen látható, hogy azokat a részértékeket szükséges javítani, ahol a sáv széles (nagyobb súlyozási értékű), de még túlságosan rövid. A nagy összérték mellett fontos az is, hogy kiegyenlített értékprofil alakuljon ki.



7. ábra: Egy új megoldásváltozat (C7) és az „ideális” megoldás (C1) értékprofilja

A 7. ábra alapján megállapíthatók az egyes változatok gyenge pontjai, mint pl. a helyszükséglet, egyszerű alkatrészek, súly, nagyszámú kapcsolás.

Az elemzésekből az adódott, hogy a berendezés legkényesebb pontja az axiális kapcsolatot biztosító mechanizmus.

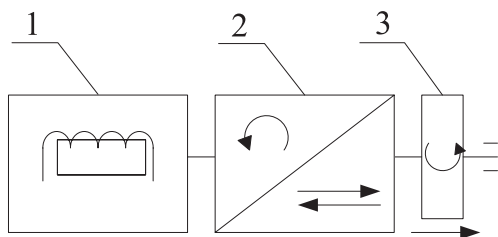
3.4 Az axiális kapcsolatot biztosító mechanizmus megoldásváltozatai

A változatképzés alapja, hogy miként és hogyan lehetne a kapcsolómechanizmust (Pinion-Engaging Mechanism) más megoldásokkal helyettesíteni, mivel a mágnescapcsoló az indítómotor egyik legkényesebb része. A vasmag által megtett út hossza fontos jellemző, ugyanis ez határozza meg a kapcsoló fogaskerék axiális elmozdulását. Ha az elmozdulás útja rövidebb a szükségesnél, a fogaskerék kapcsolat nem megfelelő, ha hosszabb akkor a fogaskerék felütkezik. Továbbá a főáramkör záró érintkezőjének a megfelelő elmozdulási helyzetben kell zárnia. Az érintkezőknek rendelkeznie kell ún. leégési tartalékkal, ugyanis a működés során, az áramkör zárásakor, és különösen nyitáskor a nagy áramerősségek miatt erős szikrázás lép föl, ami az érintkezők fogyáshoz vezet. Az ehhez kapcsolódó javítás és szerelés költségei nagyok.

Összefoglalva az új szerkezeti megoldásoknak is üzembiztosan kell teljesíteni a mágnescapcsoló két fő funkcióját, amely:

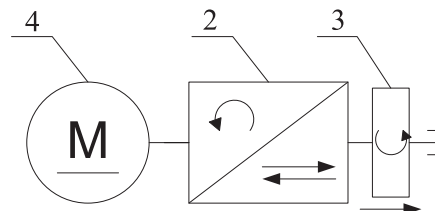
- A **fogaskerék-kapcsolat létrehozása** és annak megszüntetése, közvetítő elem segítségével.
- A **főáramkör zárása**, és minél gyorsabb oldása.

A két funkció szoros kapcsolatban van egymással, ezért olyan változatokat képeztünk, amelyek teljesítik ezeket a követelményeket. A kapcsolómechanizmust úgy kell az indítómotorra helyezni, hogy minél rövidebb vezetéseket lehessen alkalmazni. Az eddig alkalmazott mechanizmus (8. ábra) vasmagos tekercsből (1) (elektromágnesből), haladó-haladó mozgásátalakítóból (kiemelővilla) (2) és a hajtó-fogaskerékből áll (3). A hajtó-fogaskerék mind haladó, mind pedig forgó mozgást, ferde fogazatú evolvens profilú bordás tengely-agy kötésen keresztül végez.



8. ábra: A hagyományos kapcsolómechanizmus funkciómodellje

Célul tűztük ki, hogy az új kapcsolómechanizmus koaxilisan helyezkedjen el a villamos motor tengelyével úgy, hogy minél kisebb legyen az axiális méretnövekedés. A kapcsolómechanizmus működtetését a (4) villamos motor és a (2) forgó-haladó mozgásátalakító hajtja meg (9. ábra). Elkészítettük az **axiális kapcsolatot biztosító** mechanizmus kialakítási és gyártási dokumentációját. A megvalósított kísérleti berendezés fázisrészlete során több mint 300 000 kapcsolást szimuláltunk.



9. ábra: Az új kapcsolómechanizmus funkciómodellje

ÖSSZEFOGLALÁS

A fejlesztés során elsődleges cél volt a technika állásának megfelelő berendezés, termék tervezése és kivitelezése.

Hagyományos tervezésmódszertani eszközökkel feltártuk elvi hatás szinten az elméletileg lehetséges megoldásokat.

Megállapítottuk, hogy a kapott megoldásmező három nagy csoportra bontható úgy, mint hidraulikus, pneumatikus, villamos energiaforrásról vezérelt indító berendezés.

Állításunkat igazolva 1958. augusztus 5-én vették lajstromba L:J.Pihel 2,845,916 sz. szabadalmi bejelentését melynek címe: Hydraulic starting system for internal combustion engine (kódolása: A2-B12.1-B21.1-C4-D1-E12.1), ill. 1987. szeptember 22-én tették közé Massami Tanaka Starting device with air motor for internal combustion engine (Patent No.: 4,694,791) szabadalmi bejelentése (A3-B12.1-B21.1-C3-D1-E12.3). Különböző döntés előkészítési módszerekkel kiválasztottuk és meghatároztuk az életképes megoldásokat. A fejlesztési irány meghatározását – a döntést – minden esetben a megbízó mérnökeivel közösen készítettük elő. Az elvi megoldások részfunkcióihoz minden esetben tervezői katalógusokat készítettünk, illetve alkalmaztunk. Ezek alapján megállapítottuk, hogy a tervezés, fejlesztés nem minden esetben új létrehozását jelenti, sokkal logikusabb a korábbi hasonló termékek közül a legmegfelelőbbet kiválasztani, annak gyenge pontjait a megváltozott követelményekhez és peremfeltételekhez illeszteni.

5. táblázat: A részfunkciókhoz rendelt rész megoldások

Rész-funkció	Az „Elvi megoldás 2” rész megoldásai	A kiválasztást döntően befolyásoló ok
A4	Akkumulátor	Napjainkig alkalmazott, legelterjedtebb megoldás
B12.1	Hengeres fogaskerék hajtás	A belső égésű motor és a forgattyús tengely nem alakítható át
B21.1	Axiális kapcsolatot biztosító mechanizmus	Pontos pozicionálás
C4	DC motor (állandó mágnes, ill. soros gerjesztésű)	Legnagyobb az indítónyomatéka
D4	KB típusú bolygómű	Legkisebb a helyszükséglete és nagy nyomaték átvitelére alkalmas
E12.1	Mechanikus visszafutásgátló, szabadonfutó	Legkisebb a helyszükséglete, és egyszerű a vezérlése

SUMMARY

The primary objective in the development project was to design and construct a state-of-the-art device. Classical design methodology was used to explore the theoretically possible solutions at principle impact level. It was found that the solution field obtained could be divided into three large groups, such as starters controlled by hydraulic, pneumatic, and electric energy sources. Our findings were proved by the registration of the patent claim no. 2,845,916 (function structure A2-B12.1-B21.1-C4-D1-E12.1) by L.J. Pihel on 5 August 1958 called Hydraulic starting system for internal combustion engine, and the publication of the patent by Massami Tanaka of a Starting device with air motor for internal combustion engine (Patent No.: 4,694,791: A3-B12.1-B21.1-C3-D1-E12.3) on 22 September 1987.

Various decision preparation methods were used to select and determine the viable solutions. Determination of the development direction – the decision – was always prepared in cooperation with the engineers of the project partner. Design catalogues were prepared and used for each sub-function of the theoretical solutions. These were used to establish that design and development did not in every case mean the conception of something new, but it is much more logical to select the most suitable one of the already existing similar products, and to improve its weak points to fit the modified requirements and boundary conditions.

IRODALOM

- [1] KARLHEINZ R.: Tervezés katalógussal. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1989.
- [2] G. PAHL-W. BEITZ: Engineering Design. London, The Design Council, 1984.
- [3] VDI Richtlinie 2222 Bl. 1: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf, 1997.
- [4] I. HORVATH: A treatise on order in engineering design research, Research in Engineering Design 15 (3) (2004) 155–181.
- [5] S. VAJNA: Theories and methods of product development and design, GÉPÉSZET 2008 Proceedings of 6th confrence of mechanical engineering, Budapest.

- [6] Y, ZENG - S, YAO: Understanding design activities through computer simulation, Advanced Engineering Informatics 23 (2009) pp. 294–308.
- [7] BIRKHOFER, H.: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Fortschr. Ber. VDI-Z. Reihe 1, Nr. 70. Düsseldorf: VDI-Verlag 1980.
- [8] VDI Richtlinie 2225 Bl. 1 und Bl. 2: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf, 1977.
- [9] HUBKA, V., EDER, W.E. (1988) Theory of Technical Systems. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, ISBN 0-387-17451- 6. 1988.
- [10] Cross, N: Engineering Design Methods John Wiley (1989)
- [11] HANSEN, F: Módszeres Géptervezés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [12] ZWICKY, F. (1948) The morphological method of analysis and construction. Courant anniversary volume. New York: Intersciences Publish, p. 461-470.
- [13] G.S. Altshuller, Creativity as an exact science: the theory of the solutions of inventive problems, in: F.H. George (Ed.), Studies in Cybernetics, Gordon and Breach Science Publishers, 1984.
- [14] R, ZAVBI – J, DUHOVNIK: Design environment for the design of mechanical unit drives ,Computer-Aided Design, Vol. 27, No. 10, pp. 769-761.1995
- [15] H.-J. FRANKE, - M. DEIMEL: Selecting and combining methods for complex problem solving within the design process. International design conference – design 2004 Dubrovnik, May 18 - 21, 2004.
- [16] ZADNIK- M, KARAKAŠIĆ – M, KLJAJIN – J, DUHOVNIK: Function and Functionality in the Conceptual Processes, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 55(2009)7-8, 455-471
- [17] TAJNAFŐI J: Szerszámgéptervezés II. Budapest, Tankönyvkiadó, 1990.
- [18] Alternators and Starter Motors. Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2003.
- [19] TÓMÓSI, M. J. - FRANK, GY.: Autóvillamosság. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1978. 262-286. old.
- [20] DEZSÉNYI, GY - EMŐD, I.- FINCHIU, L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1999. 33-792. old.

CONTENTS

1. Bodzás S.; Dudás I.:
Analysis of measuring technique of thread surfaces.....3
During machining the wear and re-sharpening as well as the limited accuracy in the setting of cutting tools can cause distortion and shape deviations of helicoidal surfaces. Due to its outstanding accuracy the three coordination measuring technique can be well used in mass production.
2. Hajdú S.; Lakatos K.:
Some properties of working cross-flow turbines 10
A characteristic feature of cross-flow turbines is a strong fluctuation in the circumferential force generating axle power, because the interaction between the blades and the medium is not constant. Paper explains the evolution of the inlet velocity triangle and the cyclically varying forces, assuming different ratios of rotational speed and flow velocity.
3. Koncsik Zs.; Marosné Berkes M.; Kuzsella L.:
Mechanical behaviour of Si₃N₄/SiC/graphite ceramic composites 17
Authors deal with tribological behaviour of the newly developed Si₃N₄/SiC/graphite ceramic composites. Main goal of the project is the investigation of correlation between the tribological characteristics and other mechanical properties as well as the various microstructure features.,
4. Kovács P. Z.; Tisza M.:
Incremental sheet metal forming23
Paper describes the research work has been carried out in the frame of a EUREKA project concerning a new innovative sheet metal forming. The incremental sheet metal forming process patented in 1967 has several advantages in single product and small series manufacturing.
5. Monostoriné Hörcsik R.; Dudás I.:
The measurement technique analysis of the crown wheel of spiroidal worm gear drives31
A procedure for measuring teeth of crown wheel of spiroidal driving without using radial table has been developed. Using this 3D measuring technique more accurate result can be achieved compared to conventional measuring technique, due to the full automation of this new method.
6. Nagy L.; Jakab E.:
Determination of acceptable solution variants for starter motors by traditional conceptual design methods35
The principal goal of the paper was to present an industrial project which can be solved by 'classical' design methods. The project was launched in 2006 for development and implementation a new automobile starter motor matching to the state of modern technique.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Dr. Kálmán András

General Editor

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczy István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Dr. Jármái Károly

Kármán Antal

Dr. Kulcsár Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Rittinger János

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Cooperation in the editing:

prof. Dr. Tisza Miklós

Dear Reader,

One of the most important efficiency characteristics of Doctoral Schools is the number of doctoral theses prepared and defended by the students of the Doctoral School. It is also regarded as an important condition of the submission of doctoral theses that students should present their researches at different forums and their results should be measured at professional scientific forums.

International character of science necessitates publication of results in foreign languages, at the same time it is also an important factor that the young candidates could accurately formulate their professional ideas in Hungarian language and publish those to the public.

István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering would like to ensure the high quality of professional works of students when it postulates the publications of peer reviewed papers concerning the theme of their theses both in foreign and in Hungarian languages. The Reader holds in his/her hands that Number of monthly journal GÉP in which the peer reviewed papers of the István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering are published in 2010. Papers belong to the scientific field of fundamental sciences of mechanical engineering, production engineering and machine designing. In his article Sándor Bodzás deals with the analysis of measuring technique for helical surfaces. A new measuring technique has been elaborated for the measurement of helical surfaces without applying a circular table. The paper shortly reviews the mathematical equation system of conical helical surfaces and analyses the differences between the theoretical and real cog profiles. The elaborated measuring method is suitable for qualification of helical surfaces.

Sándor Hajdú writes about the characteristic features of operations in cross-flow turbines. One of the essential specialities of cross-flow turbines that the circumferential force generating the axle power strongly fluctuates because the interaction between the blades and the medium is not constant. Paper presents the evolution of the inlet velocity triangle and the cyclically varying forces due to the rotation by assuming different ratios of rotational speed and flow velocity.

Main topic of the paper of Zsuzsanna Koncsik is the investigation of the tribological behaviour of the newly developed Si₃N₄/SiC/graphite ceramic composites. Major goal of this research work was the investigation of correlation among the tribological characteristics (wear coefficient, wear mechanism, friction coefficient) and some mechanical properties (hardness, fracture toughness) as well as the varied microstructure specialities. On the basis of the performed tests it is stated that there is an unambiguous relationship between the given characteristics also for engineering ceramics. Péter Zoltán Kovács gives an account about the initial results of his research work dealing with a new, innovative forming process, namely the incremental sheet metal forming. Reviewing the theoretical basis and the technological variants of the process he analyses the theoretical basis of the higher formability that can be achieved by this new process and also reports the results of the experimental formability tests.

In the paper written by Renata Hörcsik Monostori writes about the analysis of measuring technique of spiroid worm drives. Planning, manufacturing and qualification of helical surfaces of spiroid worm drives and gear cutting tools are considered as an important industrial task. Novel analysis of measuring techniques and qualification of these surfaces is described in this paper.

Lajos Nagy analyses the possible solution variants using traditional design methods and finds out that the theoretically possible solution fields can basically be classified into three large groups of starter equipment (controlled by hydraulic, pneumatic and electric energy sources). The 'viable' solutions are selected by analysing the possible variants and by applying different decision making methods.

These papers illustrate well the diversified scientific research work has been carried out in different fields of sciences in the István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering. With all my heart I recommend the high standard works of our doctoral students to the attention of all Readers.

Miskolc, May of 2010



Prof. Dr. Miklós Tisza

Head of the István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering

Managing Editor: Dr. Kálmán András. Editor's address: 3529 Miskolc, Budai József u. 46.
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (46) 325-504, 20/9358-812. E-mail: kaests@axelero.hu
Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.

Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: ficze.gte@mtesz.hu, Internet: www.gte.mtesz.hu
<http://members.chello.hu/cocom/gep/gep-index.htm>

Responsible Publisher: DR. IGAZ JENŐ Managing Director

Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Managing Director: Vesza József

Price per month: 900 Ft; Subscriptions 2.700 Ft per a quarter, 5.400 Ft per an half a year, 10.800 Ft per year.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

All articles are peer reviewed.