

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet
Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

ELEKTROMÁGNESES ALAKÍTÁSSAL LÉTREHOZOTT ALAKZÁRÓ KÖTÉSEK ÉS VIZSGÁLATUK

Szerző: **Porkoláb Péter**
gépészmérnöki szak, II. évfolyam

Konzulens: **Dr. Rác Pál**
egyetemi docens

Konzulens: **Dr. Göbl Nándor**
kutató mérnök

Budapest, 2011

I. Bevezetés

A TDK dolgozat témája alakzáró kötés kialakítása egy kevésbé ismert és elterjedt technológiával: az elektromágneses alakítással, valamint ezzel az eljárással létrehozott kötések vizsgálata. Mivel ebben a témában ez az első munkánk, legfontosabb feladatunk a további kutató munka szempontjából az alapismeretek megszerzése, a technológia megismerése.

Az elektromágneses alakításra vonatkozó 1958-as alapszabadalmat Harvey és Brower nyújtotta be. [1] Az azóta eltelt időszakban számos országban kísérleteztek, sok disszertáció készült és ipari technológiák sorát dolgozták ki e témakörben. Napjaink igényei: az anyag-, energia-, időtakarékoság, a környezetvédelem előírásai, valamint az elektronikában végbement fejlődés új lendületet adott e technológia fejlődésének és további ipari alkalmazásának. [2]

Magyarországon is volt előzménye az elektromágneses alakítással kapcsolatos kutatásoknak: az 1960-as évek közepétől a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) és a Gépipari Technológiai Intézet (GTI) kutatói a technológia akkori szintjéhez mérten jelentősnek mondható kutatási eredményekkel járultak hozzá a technológia fejlődéséhez. 1970-90 között a GTI négy berendezést készített a Német Demokratikus Köztársaság részére ipari célokra. [2]

A TDK dolgozat első, elméleti része bemutatja az elektromágneses alakítást, ami képlékeny hidegalakítási eljárás, a nagyenergiájú (sebességhatáson alapuló) technológiának lemez- vagy cső alakú munkadarabokra kidolgozott változata, amely az elektrodinamikus alakító eljárások csoportjába tartozik. [3]

Elektromágneses alakítással jó villamos vezetőképességű és alacsony folyáshatárú lemez- vagy cső alakú munkadarabokat alakítanak elektromágneses impulzussal, mechanikus és hidraulikus kapcsolat nélkül. [2]

A TDK dolgozat második, kísérleteket ismertető része kompressziós hatású szerszám-elrendezéssel egy-, kettő-, háromhornyos rudak alakzáró kötésének létrehozását és vizsgálatát mutatja be ábrákkal, képekkel szemléltetve.

A befejezésnél a szerző javaslatot tesz arra, hogy milyen anyagpárosításokat, horonytípusokat célszerű ipari alkalmazás (termelékenységnövelés, költségcsökkentés) szempontjából megvizsgálni, felhívja a figyelmet az igénybevételek vizsgálatának fontosságára.

II. Elektromágneses alakítás

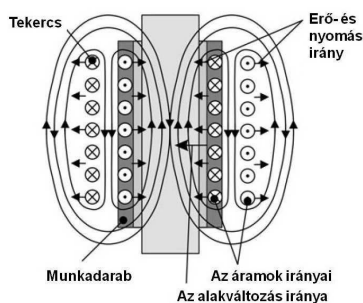
Az elektromágneses alakítás képlékeny hidegalakító eljárás, a nagyenergiájú alakítás lemez- vagy cső alakú munkadarabokra kidolgozott változata. [3]

A nagyenergiájú alakító eljárások közös jellemzője a hagyományos alakító eljárásokhoz képest, hogy a munkadarab több nagyságrenddel nagyobb alakváltozási sebességét ($>10^2 \text{ s}^{-1}$) koncentrált energia impulzusszerű felzsabadítással hozzák létre, továbbá kevesebb számú energiaátalakításra kerül sor. Az alakító nyomás általában igen nagy, és igen rövid hatásidejű. [3]

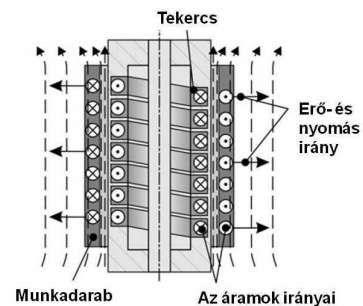
A nagyenergiájú alakító eljárásokat akkor alkalmazzák, ha nem gazdaságos hagyományos sajtológépeken végezni az alakítást a munkadarab anyaga, nagy mérete, a gyártandó kis darabszám (felszerszámozási költség) miatt. [4]

Elektromágneses alakítással jó villamos vezetőképességű és alacsony folyáshatárú lemez- vagy cső alakú munkadarabokat alakítanak elektromágneses impulzussal, mechanikus és hidraulikus kapcsolat nélkül. [2]

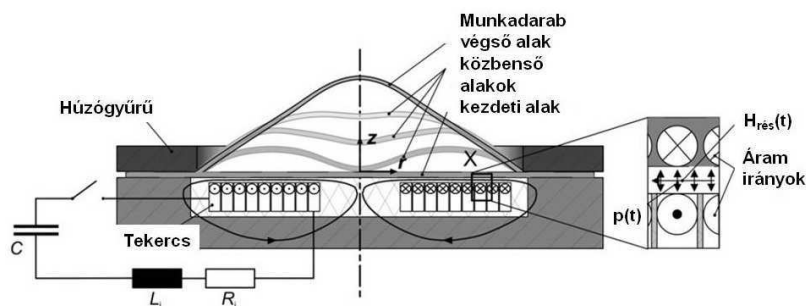
Az elektromágneses alakítóberendezés két fő részből: nagyáramú impulzusgenerátorból (legfontosabb részei: energiatároló kondenzátortelep és nagyáramú kapcsoló) és alakító szerszámból (alakítótekerces és alakadó szerszámfél) áll. [4] Az elektromágneses alakításhoz szükséges energiát a kondenzátortelep feltöltéséből nyerik; a töltőfeszültség tartománya 3...15 kV. [2] Az alakítótekerces a munkadarabhoz viszonyított helyzete szerint lehet kompressziós tekercs (körbeveszi a munkadarabot, 1. ábra), expanziós tekercs (a munkadarab belsejében van, 2. ábra), síktekerces (munkadarabbal párhuzamos, 3. ábra). Kompressziós és expanziós tekercsrel csöveket, üreges profilokat, síktekerccsel lemezeket lehet alakítani. A tekercs mechanikai szilárdságának elegendőnek kell lennie az alakítási nyomások felvételére. [1] [2]



1. ábra: Kompressziós tekercs[1]



2. ábra: Expanziós tekercs[1]



3. ábra: Síktekerces[1]

Az alakítóberendezés nagyáramú impulzusköre kondenzátorból, induktivitásból, ellenállásból álló áramkörre LRC rezgőkört alkot, így a kondenzátor kisülésének eredményeként csillapodó szinusz alakú áram jön létre, aminek frekvenciája kb. 10 kHz, első csúcserőértékének nagyságrendje 10^5 A. Az alakítótekercs és a munkadarab transzformátoros (induktív) kapcsolatban van: a tekercs egy légmagos transzformátor primer, a munkadarab egyemenetes szekunder tekercse. Az alakítótekercsben folyó áram a munkadarabban ellenkező irányú áramot hoz létre (Lenz-törvény), taszító kölcsönhatásuk elegendően nagy erőt hoz létre (Lorenz erő), amely eredményeként a mágneses nyomás értéke eléri a munkadarab anyagára jellemző folyáshatárt, majd azt meghaladva a munkadarab megfelelő sebességre felgyorsítva (50-300 m/s) felütközik az ellendarabra. A mágneses nyomás csúcserőértéke a primer áram első csúcserőértékénél alakul ki. Az alakítási folyamat nagyon rövid idejű ($<100 \mu\text{s}$). A mágneses erőhatás egyensúlyt tart a deformációhoz szükséges erővel, a légellenállással, és a munkadarab tehetetlenségével. [2] [4]

Az áram nem a munkadarab teljes keresztmetszetében folyik, hanem kizsorul a felülethez közeli δ vastagságú térrészbe, ha a primer áram frekvenciája elég nagy és a munkadarab villamos vezetőképessége megfelelő. A δ értékét skin-mélységnek nevezzük: ebben a távolságban a felszíni érték $1/e$ -ad részére csökken az áram. Ha a skin-mélység nagyobb a munkadarab vastagságánál, akkor csökken a mágneses nyomás. Ilyenkor a fém matricában is áram indukálódik (a munkadarabon kívül a többi elektromos vezető anyagú rész is egyemenetes szekunder tekercsként induktív kapcsolatban van az alakítótekercssel) aminek ellenkező irányú erőhatását mágneses párnahatásnak nevezzük. A mágneses párnahatás miatt a munkadarab nem tölti ki tökéletesen az alakadó szerszámot. [4]

A technológia sokoldalúságát növeli, hogy egy kompressziós tekercstípus különböző térformáló segítségével különféle alakú és méretű munkadarabokhoz alkalmazható. A térformáló a mágneses teret a geometriai kialakításától függően erővonal sűrítéssel (indukciónövelő hatással), „formálja”. Ez a külső és belső aktív felületeihez tartozó átmérők, a gerjesztett (a szerszám tekercselésének irányában lévő) és alakítást létrehozó (a munkadarab irányában lévő) felület hatásos hosszának arányától függ. Az erővonal-sűrítő képességet csak a külső és belső felület összekötésével, folyamatos áramvezetést biztosító átkötő felületek kialakításával (például hasíték) lehet biztosítani. A térformáló 1:1 áttételű transzformátornak tekinthető, amely sajnos csökkenti a hatásfokot (térformáló nélkül 5...10%, térformálóval 3...4%). [3] [4]

A nagyenergiájú alakító eljárások közül az elektromágneses alakítás ciklusideje a legkisebb, így tömeggyártásban is használható eljárás. [3] Kisebb munkadarabok és nagy sorozatnagyságok esetén alkalmazzák. [4]

Az elektromágneses alakítás legfontosabb alkalmazási jelentősége, hogy segítségével olyan feladatokat lehet megoldani, amit más technológiával nem, vagy csak nagyon bonyolult módon lehet, például fémeket lehet kerámiákkal nem bontható kötéssel szerelni. [3] Alkalmazzák még nanométer szemcseméretű porkohászati porok tömörítésére, hegesztett és képlékenyalakítással létrehozott kötések kialakítására, személygépkocsik alumínium karosszériaelemek gyártására stb. [2]

Az elektromágneses alakítás előnyei a hagyományos eljárásokhoz képest:

Mechanikus, hidraulikus érintkezés nélkül lehetővé válik bevonatolt, festett darabok felületi rétegének sérülése nélküli alakítása. Nincs szükség kenőanyagra, ezért is környezetbarát. Lehetővé válik nagyon eltérő tulajdonságú anyagok (például fém és kerámia) kötése. Elegendő az alakadó szerszámfél elkészítése, így olcsóbb és egyszerűbb, ami például prototípusok készítésénél előny. Alakítás során csökken a visszarugózás mértéke. A nagy alakítási sebesség miatt jelentősen javulnak az anyag mechanikai tulajdonságai.

Sajnos meg kell említeni a hátrányokat is:

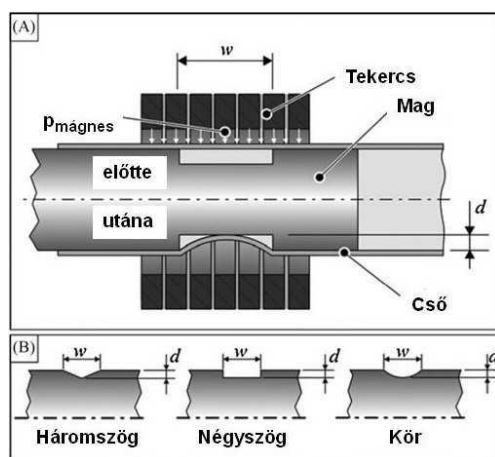
Az eljárás jó elektromos vezetőképességű, viszonylag alacsony folyáshatárú fémek alakítására alkalmas. A hatásfok alacsony, egyesek szerint legfeljebb 20%. Az alkalmazott nagy áramerősség és feszültség miatt fokozott biztonsági intézkedések szükségesek a baleset elkerülése érdekében.

Összegezve a technológia megfelel napjaink igényeinek: termelékeny, takarékos és környezetkímélő.

III. Cső és hornyolt rúd közötti (alakzáró) kötés

Az elektromágneses alakítással rúdra sajtolt cső és a hornyokkal ellátott rúd együttes képlékeny alakváltozása meghatározza a kötés teherbírását. A kötés teherbírása egyenesen arányos az összeszorító nyomással és a kötés hosszával.

Az alakzáró kötés szilárdságát meghatározza a cső rúdba munkált hornyokba való alakítása. Az így kialakított kötés széthúzásához le kell győzni a súrlódást és deformálni kell a csövet. A kötés erőssége olyan nagy is lehet, hogy a húzó igénybevétel hatására a cső elszakad.

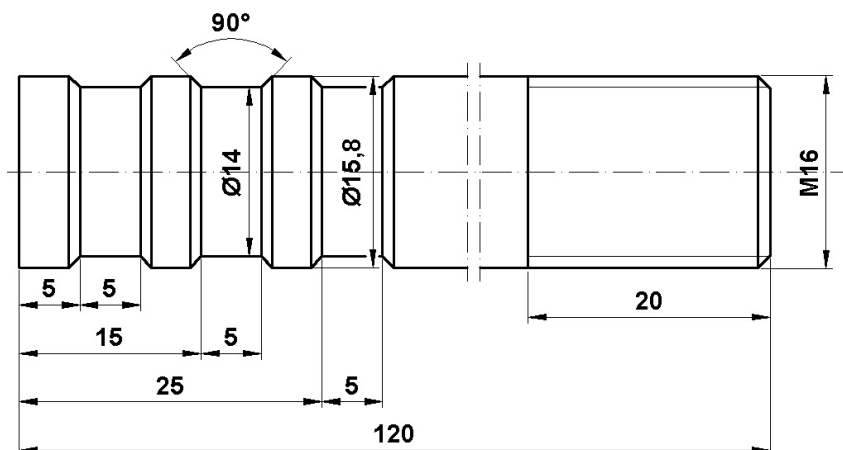


4. ábra: Alakzáró kötés létrehozása és különböző horonyprofilok[5]

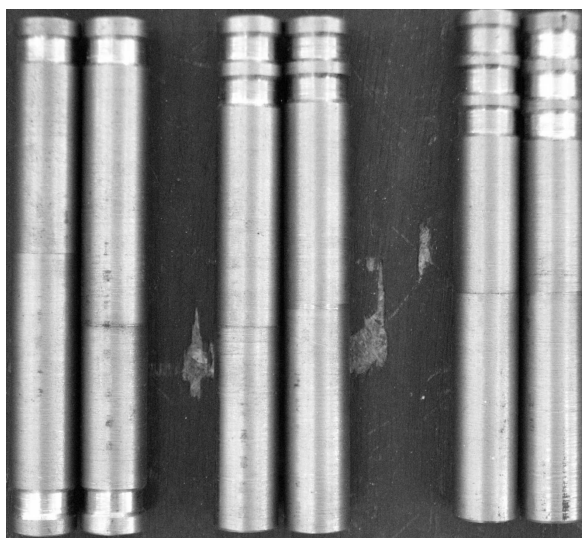
A kötés szilárdsága szempontjából a legjobb, ha az alakított cső belső felülete eléri a horony fenekét. A kötés szilárdságát csökkenti a túl mély horony esetén a horony széleinél bekövetkező nyírási jelenség, a túl széles horony, a lekerekített horony (utóbbi az esetben a horony kitöltését eredményező töltési energia kisebb lehet). [5]

IV. Alakzáró kötés létrehozása elektromágneses alakítással

A kísérlethez egy-, két-, háromhornyos acélrudat készítettünk. A rudak geometriai tulajdonságai csak a hornyok számában tértek el. A horony geometriája az 5. ábrán látható kivétel szerinti volt. A rudak az 1. képen láthatók. Trapéz alakú hornyot választottunk, ami szilárdsági szempontból a legmegfelelőbb (a cső kevésbé hajlamos nyírásra). Az M16-os menet a rudakon a szakítógépbe való befogásra szolgál.

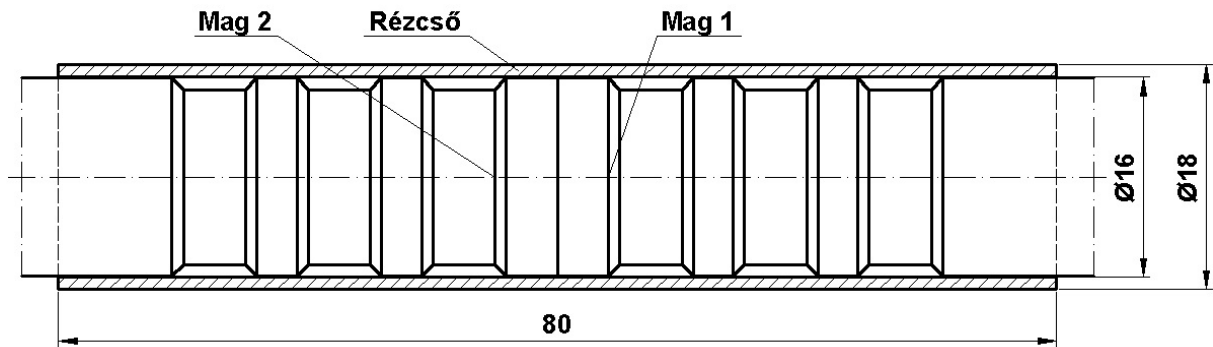


5. ábra: Háromhornyos acélrúd (mag)



1. kép: Hornyos acélrudak (magok)

A kötés második elemének rézcsövet választottunk a kiemelkedő villamos vezetőképessége miatt. A csöveket kereskedelmi forgalomban kapható 18x1 mm-es rézcsőből daraboltuk le 80 mm-es hosszra. A ledarabolt csöveket 600 °C-on 20 perces hőntartással lágyítottuk, a kemencéből kivéve vízben hűtöttük le. A csődarabból és két acélmagból összeállított kísérleti elrendezést a 6. ábra mutatja. Mivel az acélmagok átmérőjét 15,8 mm-re készítettük el azokon a rézcsövek lazán illeszkedtek. Az alakítási szempontból meghatározó térformáló és alakítandó rézcső közötti rés mérete 1 mm-re adódik.

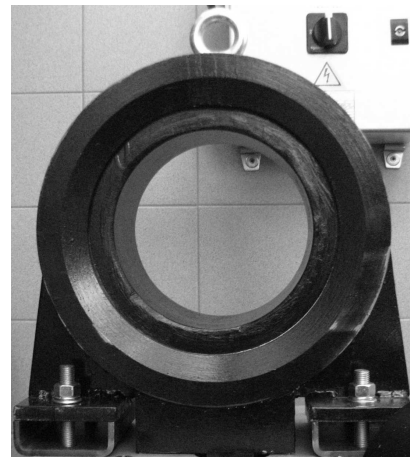


6. ábra: Összeállítás háromhornyos acélrudakból és rézcsőből

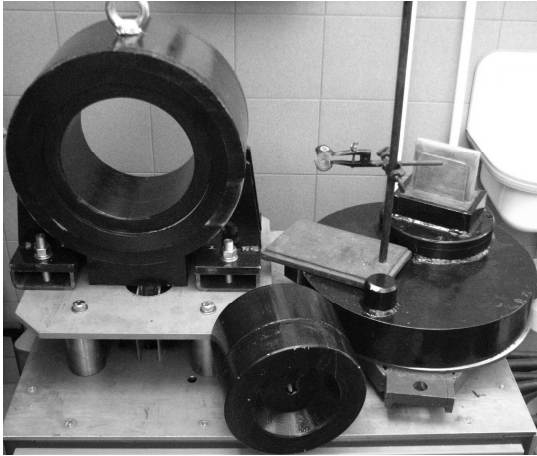
A kötések a Kecskeméti Főiskola GAMF Karának Mechanikai Technológiai Laboratóriumába telepített EMA-EHA-EM 24/30 elektromágneses alakító berendezéssel (2. kép), M30 kompressziós tekercssel (3-5. kép) és illeszkedő térformálóval (4-7. kép) készítettük.



2. kép: EMA-EHA-EM 24/30 alakító berendezés,
háttérben jobbra M30 kompressziós tekercs
illeszkedő térformálóval



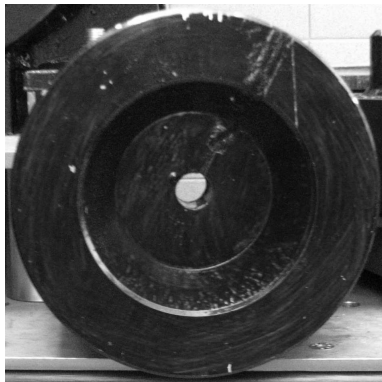
3. kép: M30 kompressziós tekercs



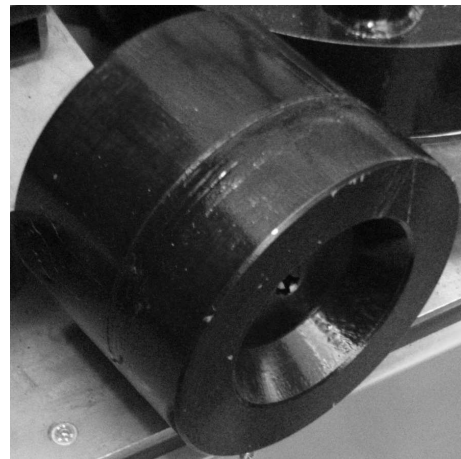
4. kép: M30 kompressziós tekercs (balra), térformálóval (középen), síktekercs (jobbra; a kísérlet során nem használtuk)



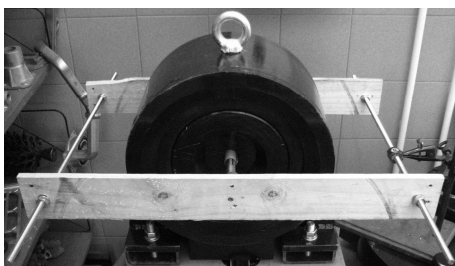
5. kép: M30 kompressziós tekercs illeszkedő térformálóval (balra), síktekercs (jobbra; a kísérlet során nem használtuk)



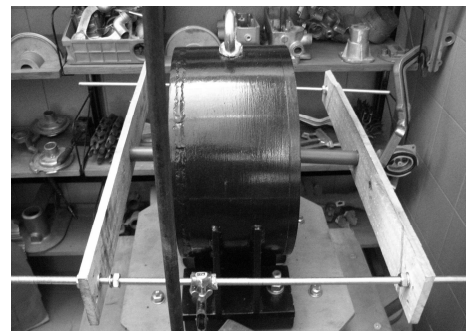
6. kép: Térformáló



7. kép: Térformáló



8. kép: Tartószerkezet



9. kép: Tartószerkezet

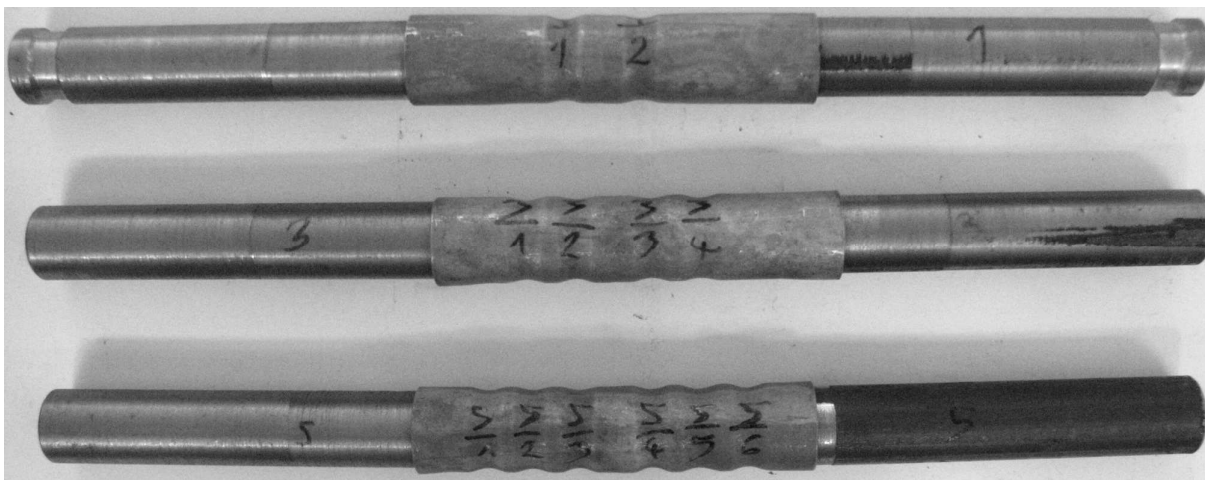
A kötésre előkészített két azonos hornyolású acélmagból és egy rézcsőből álló szerelési egységet egy egyszerű készülékbe fogva helyeztük be a tekercsbe. A rézcső szerelés előtti rögzítése szigetelőszalaggal történt. A rézcsövet prespannal szigetelve helyeztük a térformálóba. Az alakítás során tartószerkezet (8-9. kép) biztosította a kötés alkatrészeinek helyzetét.

Az alakítás elektromos paramétereit az alakítási energia számítása és a hatásfok előzetes becslése alapján határoztuk meg; a töltési energiát ezért 6,5 kJ-ra állítottuk be, amely 4,4 kV-os töltőfeszültséget igényelt.

Egyhornyos kötés esetén egyetlen alakítási művelettel hoztuk létre az alakzáró kötést: a rudakon található horonyba alakítottuk a csövet. Két- és háromhornyos kötésnél három lövéssel hoztuk létre az alakzáró kötést: az első lövéssel a két rudat pozícionáltuk (a rudak egymás felé eső végén található egy-egy horonnyal ugyanúgy létrehoztuk az alakzáró kötést, mint egyhornyos kötésnél), a második és harmadik lövéssel horonyba sajtoltuk az addig alakítatlan csőszakaszokat.

V. Elektromágneses alakítással létrehozott alakzáró kötés vizsgálata

A fentiekben leírt módon összesen 6 kötést készítettünk (2-2 kötés magtípusonként, 10. kép).



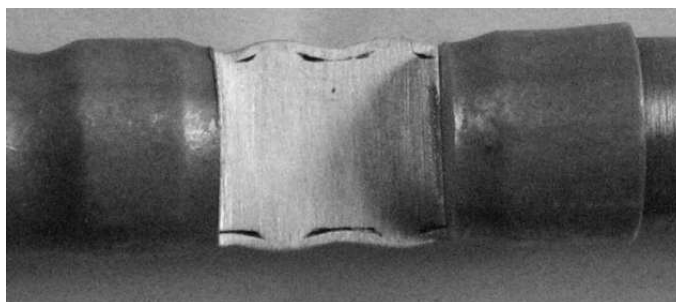
10. kép: Elektromágneses alakítással létrehozott alakzáró kötések

Először megvizsgáltuk az elkészített kötések geometriai jellemzőit: digitális tolómérővel megmértük az alakított rézcső külső átmérőjét és hosszát (1. táblázat).

1. táblázat

PRÓBATEST TÍPUSA	PRÓBATEST SORSZÁMA	HOSSZ [MM]	ÁTMÉRŐ [MM]					
			1.	2.	3.	4.	5.	6.
egyhornyos kötés	1.	80,27	16,03	15,95				
	2.	79,99	16,14	16,01				
kéthornyos kötés	1.	80,37	16,60	16,08	16,07	16,50		
	2.	80,31	16,38	16,02	16,24	16,04		
háromhornyos kötés	1.	80,62	16,70	16,49	16,13	16,03	16,27	16,07
	2.	80,45	15,98	15,97	15,90	15,99	15,80	15,78

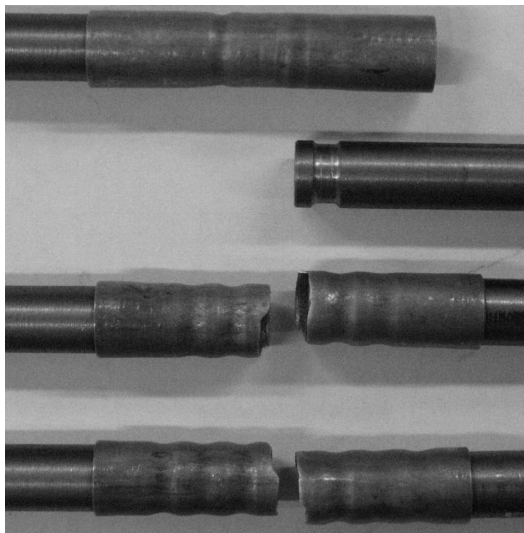
A rézcső alakítás utáni külső átmérője az egyes hornyokban többnyire 15,9 – 16,1 mm között változik. Kivétel a kéthornyos kötés 1. illetve a háromhornyos kötés 1. jelű kötésén mért 16,6 és 16,7 mm-es átmérő, amelyek valószínűleg kisebb energiájú alakítást szenvedtek el a tekercsben való esetleges nem teljesen pontos behelyezés következtében.



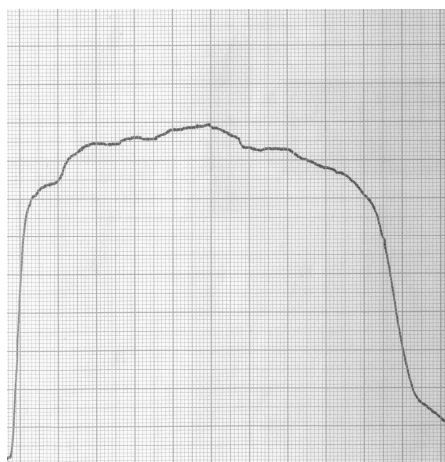
11. kép: Az elmetezett kötés

A háromhornyos kötések közül az 1. jelű próbatestet ujjmaróval a szimmetriasíkiig lemartuk, a felületet gyémántreszelővel és csiszolóvászonnal megcsiszoltuk, a forgácsot levegőfúvással eltávolítottuk. A 11. képen látható, hogy cső nem töltötte ki a hornyokat, de elérte a horony fenekét. A csőnek a horony külső élével érintkező részén enyhe kontrakció is megfigyelhető.

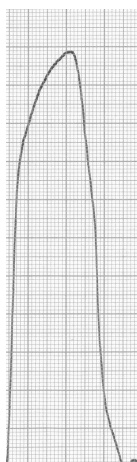
Próbatest típusonként egy darabot az Óbudai Egyetem BGK Karának AGI Anyag- és Alakítástechnológia Szakcsoportja Képlékenyalakító Laboratóriumában található 20 kN mérési határú csavarorsós szakítógépen 4 mm/perc sebességgel elszakítottunk. A szakítóvizsgálat során az egyhornyos kötésű próbatest széthúzódott, a rézcsőből a rúd kicsúszott, míg a két- illetve háromhornyos kötéseknel a rézcső szakadt el (12. kép).



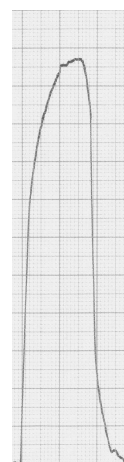
12. kép: Szétszúszott és elszakadt kötések



7. ábra: Egyhornyos kötés szakítódigramja



8. ábra: Kéthornyos kötés szakítódigramja



9. Háromhornyos kötés szakítódigramja

A 2. táblázatban szerepel a szakítódigramokból (7-9. ábra) leolvasható maximális kihúzó erők értéke (az erő léptéke 100 N/mm), valamint a szétszakadt kötéseknel a rézcső eredeti keresztmetszetéből ($\varnothing 18 \times 1$ mm) és a maximális kihúzó erőből számítható szakítószilárdság is.

2 táblázat

PRÓBATEST TÍPUSA	SZAKÍTÓERŐ [KN]	MEGJEGYZÉS
egyhornyos kötés	8900	A kötés nem tartott: a rúd kicsúszott a csőből.
kéthornyos kötés	10800	$R_m=202,21$ MPa
háromhornyos kötés	10700	$R_m=200,34$ MPa

Az alkalmazott horonyprofillal egyhornyos kötés esetén a cső csak részben viseli a terhelést: a rúd kicsúszott a csőből. Az alkalmazott horonyprofillal két-, háromhornyos kötés szilárdsága a cső szakítószilárdságával megegyezik.

VI. További kutatási feladatok

Az ipari alkalmazás gyakorlata eldönti a geometria és a szilárdság alapján, hány darab és milyen alakú hornyot, milyen anyagú és méretű csövet célszerű használni. Ebből a szempontból a további kutatási feladatokat célszerű középpontba állítani:

- a réz ára és az acél elektromágneses alakításának nehézségei (ötvözők miatt villamos vezetőképessége romlik) következtében elsősorban alumínium mag és cső közötti kötések célszerű megvizsgálni.

- azonos anyagpárookra össze kell hasonlítani a kötések sima és hornyolt rúd alkalmazása esetén.

- a mag geometriai kialakítását célszerű továbbfejleszteni, különös tekintettel az egyhornyos kötésre (termelékenység-növelés és költségcsökkentés).

A gyakorlatban egytengelyű húzó igénybevételen kívül csavaró, nyíró, váltakozó igénybevétel (azaz fárasztás) is fellép. Így további kutatási irány lehet csavarásnak ellenálló kötés kidolgozása és a kötésvizsgálatok kiterjesztése fárasztásra. Egy lehetséges gyakorlati alkalmazása lehet az elektromágneses alakítással létrehozott csavaró igénybevételnek ellenálló kötésnek a huzagolt lövegekhez való lövedékek vezetőgyűrűjének rögzítése.

VII. Összefoglalás

A TDK dolgozat témája alakzáró kötés kialakítása egy kevésbé ismert és elterjedt technológiával: az elektromágneses alakítással, valamint ezzel az eljárással létrehozott kötések vizsgálata. Mivel ebben a témában ez volt első munkánk, a célkitűzésünk a további kutató munka szempontjából az alapismeretek megszerzése, a technológia megismerése volt.

Az elektromágneses alakításra vonatkozó 1958-as alapszabadalmat Harvey és Brower nyújtotta be. [1] Az azóta eltelt időszakban számos országban kísérleteztek, sok disszertáció készült és ipari technológiák sorát dolgozták ki e témakörben. Napjaink igényei: az anyag-, energia-, időtakarékoság, a környezetvédelem előírásai, valamint az elektronikában végbement fejlődés új lendületet adott e technológia fejlődésének és további ipari alkalmazásának. [2]

Magyarországon is volt előzménye az elektromágneses alakítással kapcsolatos kutatásoknak: az 1960-as évek közepétől a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) és a Gépipari Technológiai Intézet (GTI) kutatói a technológia akkori szintjéhez mérten jelentősnek mondható kutatási eredményekkel járultak hozzá a technológia fejlődéséhez. 1970-90 között a GTI négy berendezést készített a Német Demokratikus Köztársaság részére ipari célokra.

A TDK dolgozat első, elméleti része bemutatta az elektromágneses alakítást, ami képlékeny hidegalakítási eljárás, a nagyenergiájú (sebességhatáson alapuló) technológiának lemez- vagy cső alakú munkadarabokra kidolgozott változata, amely az elektrodinamikus alakító eljárások csoportjába tartozik. [3]

Elektromágneses alakítással jó villamos vezetőképességű és alacsony folyáshatárú lemez- vagy cső alakú munkadarabokat alakítanak elektromágneses impulzussal mechanikus és hidraulikus kapcsolat nélkül. [2]

A TDK dolgozat második, kísérleteket ismertető része kompressziós hatású szerszám-elrendezéssel egy-, kettő-, háromhornyos rudak alakzáró kötésének létrehozását és vizsgálatát mutatta be ábrákkal, képekkel szemléltetve. A szakítóvizsgálat során az egyhornyos kötésű próbatest széthúzódott, a rézcsőből a rúd kicsúszott, míg a két- illetve háromhornyos kötéseknel a rézcső elszakadt. Az alkalmazott horonyprofillal egyhornyos kötés esetén a cső csak részben viseli a terhelést: a rúd kicsúszott a csőből. Az alkalmazott horonyprofillal két-, háromhornyos kötés szilárdsága a cső szakítószilárdságával megegyezik.

A befejezésnél a szerző javaslatot tett arra, hogy milyen anyagpárosításokat, horonytípusokat célszerű ipari alkalmazás (termelékenységnövelés, költségcsökkentés) szempontjából megvizsgálni, felhívta a figyelmet az igénybevételek vizsgálatának fontosságára.

VIII. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőm, Dr. Rácz Pál egyetemi docens segítségét, aki figyelmembe ajánlotta a témát, segített szakirodalom keresésben, és dolgozatom szövegét stilisztikai szempontból is ellenőrizte.

Köszönettel tartozom az S-Metalltech 98 Kft. munkatársainak:

Szalay András ügyvezető igazgatónak, aki lehetővé tette a konzultációt a vállalatnál, megszervezte a Kecskeméten végrehajtott kísérletet,

Dr. Göbl Nándor kutató mérnöknek, aki több évtizedes tapasztalatát önzetlenül rendelkezésemre bocsátotta és ellenőrizte írásomat; dolgozatom stílusának finomításában is rengeteget segített,

Horváth Dániel kutató mérnöknek, aki forrásokkal ellátott, munkámat folyamatosan ellenőrizte, és sürgetésével segített betartani a szoros határidőket.

Nem feledkezhetek meg Dr. Végvári Ferencről, a KF-GAMF docenséről, aki a laboratóriumot és az elektromágneses alakító berendezést rendelkezésünkre bocsátotta.

Meg szeretném köszönni Dr. Sárossy Györgynek a szakítóvizsgálatok során nyújtott segítséget. Széll Gábor, az ÓE-BGK könyvtárvezetője hasznos tanácsaival segítette a szakirodalom felkutatását, eligazított a szakszerű hivatkozáskészítés rejtelmeiben.

Végül, de nem utolsó sorban köszönetet mondok Kuti Jánosnak, a Bánki Donát Szakkollégium alapítójának és vezetőjének, aki TDK dolgozat írására bízott.

IX. Felhasznált irodalom

- [1] V. Psyk - D. Risch - B.L. Kinsey - A.E. Tekkaya - M. Kleiner: Electromagnetic forming- A review, Journal of Materials Processing Technology 211 (2011) pp. 787-829, Elsevier 2011.
- [2] Göbl Nándor - Horváth Dániel - Balogh István: Elektromágneses fémalakítás, Villamos gépek, hajtások, villamosenergia-szolgáltatás, villamosipari és épületvillamossági berendezések, Műszaki Kiadványok, pp. 14-15, Budapest 2011.
- [3] Artinger István - Kator Lajos - Ziaja György: Új fémes szerkezeti anyagok és technológiák. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1974. ISBN 963 10 0629 8
- [4] Czeglédi Istvánné - Göbl Nándor: Nagysebességű lemezalakító eljárások, Gépgyártástechnológia, 12. (1972) 7-8. pp. 329-335.
- [5] Ch. Weddeling - S. T. Woodward - M. Marré - J. Nellesen - V. Psyk - A. E. Tekkaya - W. Tillmann: Influence of groove characteristics on strength of form-fit joints, Journal of Materials Processing Technology 211 (2011) 925–935, Elsevier 2011.

MSZ ISO 690:1990 Bibliográfiai hivatkozások