

LEMEZEK TÉRFOGAT ALAKÍTÁSA

Tisza Miklós

egyetemi tanár, intézetigazgató, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: tisza.miklos@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A képlékenyalakítás hagyományos osztályozása a technológiai eljárások két nagy csoportját különbözteti meg: a lemezalakítást és a térfogatalakítást. A lemezalakítás – technológiai értelemben – lemez alapanyagok olyan képlékeny alakítását jelenti, amelyre kétdimenziós (síkbeli) alakváltozás a jellemző, míg a térfogatalakítás fogalma alatt az olyan alakító eljárásokat értjük, amelyeknél az alakváltozó zónában térbeli 3D alakváltozási állapot lép fel. Különösen az autóparral szembeni egyre fokozódó tömegcsökkentési követelmények számos területen új alakítási eljárások kidolgozását eredményezték. Ezek egyik egészen új csoportja a lemezek térfogatalakítása, amely a nagyszilárdságú anyagokból készülő, kistömegű alkatrészek funkcionális integrálásának különleges eredménye. A cikk erről a különleges, új technológiai osztályról ad magyar nyelven első ízben egy átfogó ismertetést.

Kulcsszavak: lemezalakítás, térfogatalakítás, lemez-térfogatalakítás

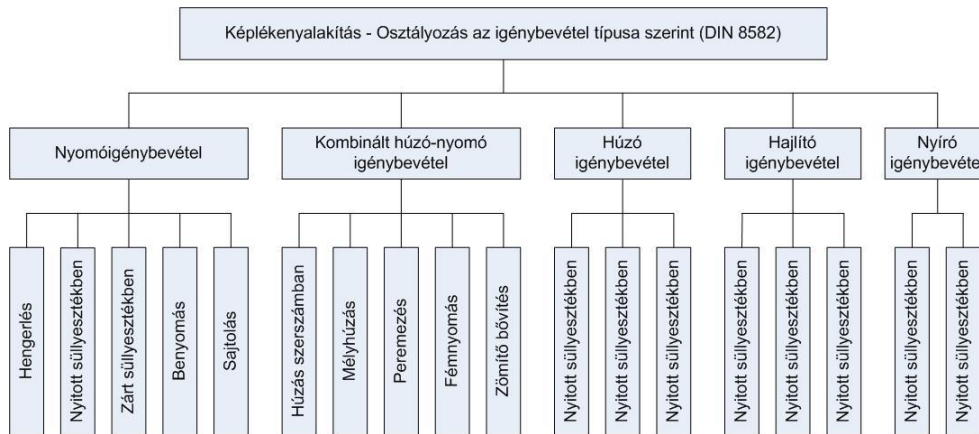
Abstract

According to the conventional classification of metal forming two main technological processes are defined: sheet forming and bulk forming. Sheet forming – concerning its process characteristics – may be defined as two-dimensional deformation of sheet materials, while in bulk forming processes, a three dimensional strain state exists in the deformation zone. Due to the ever increasing demand for light weight constructions - particularly in the automotive industry – many new forming processes were elaborated during the recent years. Sheet-bulk forming may be regarded as a special group among these new, innovative developments. The elaboration of sheet-bulk forming is a result of functional integration of light weight products usually made from high strength materials. This paper is the first general overview written in Hungarian language on this innovative new process.

Keywords: sheet forming, bulk forming, sheet-bulk forming

1. Bevezetés

Az egyes diszciplínák tudományos megalapozottságát gyakran összekapcsolják az adott terület osztályozási rendszerének minőségével, általános elfogadottságával. Ennek is tulajdonítható, hogy a különféle tudományterületek – így a képlékenyalakítás – osztályozása is a tudományos közéletben gyakran visszatérő kérdés. Számos, különböző mélységű osztályozás ismeretes. Ezek egyik általánosan elterjedt változata a német DIN szabvány szerinti osztályozás (1. ábra). A DIN 8580 – külön kiemelendő jellemzője, hogy nemcsak a fémek, hanem általánosan az anyagok alakítását osztályozza és alapvetően az osztályozás praktikus, gyakorlati megközelítésű rendszerezését követi [1].



1. ábra. Képlékenyalakító műveletek osztályozása a DIN 8582 szerint

Ennek az osztályozásnak az egyik alapvető jellemzője, hogy az alakítási eljárásokat magával az eljárás lényegi leírásával definiálja, rendszerezi. Bár ez a rendszerezés nyilvánvalóan praktikus és logikus, azonban számos kutató ennek az osztályozásnak a korlátait felismerve, saját önálló rendszerezést, osztályozást dolgozott ki [2]-[3]. A koherens és egyértelmű osztályozás kidolgozásának igénye természetesen a figyelembe veendő paraméterek nagy számát eredményezte.

Az osztályozási törekvések egyik legújabb eredményének Standring új rendszerezési javaslata [4] tekinthető, amely a korábbi rendszerek korlátait kiküszöbölő, új szemléletet tükröz. Standring kiindulva a DIN 8582-es szabványból, számos további szempont elemzésével állít fel új osztályozási rendszert (így például a kiinduló előgyártmány alakja, az alakítás megmunkálási sorban elfoglalt helye, az alakváltozás kinematikai viszonyai, az alakváltozó zóna jellege, stb.) Mivel ennek a cikknek nem az alakítási eljárások osztályozása a fő témája, ezt csak abból a szempontból érdemes megvizsgálni, hogy még ez az egészen újkeletű osztályozás is (2010) az előgyártmány szempontjából vizsgálva az alakító eljárásokat a hagyományos lemez- és térfogatalakító eljárásokként kezeli, bár ebben a tekintetben ugyanakkor a csövek és porok alakítását is megkülönbözteti.

Bármelyik – előzőekben említett osztályozási rendszert – tekintjük is tehát, ezekben a kiinduló előgyártmánytól és a technológiai sajátosságoktól függően is a lemezalakítás és a térfogatalakítás, mint a képlékenyalakítás két nagy, klasszikus technológiai csoportja külön-külön megtalálható. Azonban az utóbbi néhány évben – különösen a tömegcsökkentési igények egyre hangsúlyosabb előtérbe kerülésével – számos olyan új eljárás került kidolgozásra, amelyek nem feltétlenül sorolhatók be a klasszikus osztályozás szerinti rendszerekbe.

Ezeknek a fejlesztéseknek egyik tipikus példája az ún. lemez-térfogatalakítás (angol terminológiával Sheet Bulk Metal Forming – rövidítve SBMF), amelyek összefoglaló jellegzetessége, hogy a kiinduló előgyártmány geometriailag egyértelműen a lemezek csoportjába sorolható, ugyanakkor a kész alak létrehozásához alkalmazott eljárások egyaránt tartalmazhatnak a klasszikus osztályozások szerint egyértelműen a lemez-, illetve a térfogatalakítás csoportjába sorolható alakító eljárásokat. A következőkben ezzel az új eljáráscsoporttal, legfontosabb alapeseteivel foglalkozunk.

2. A lemez-térfogatalakítás fogalma és főbb jellemzői

Amint a bevezetőben is jellemeztük, a lemezalakítás klasszikus értelmezése szerint az olyan eljárásokat tekintjük lemezalakításnak, amelyeknél egyrészt jellemzően 2D-s geometriával jellemezhető, lemez előgyártmányokat alakítunk (*geometriai értelmezés*) és amelynek során a lemezvastagságot szándékolatlan nem változtatjuk (*technológiai értelmezés*), tehát az alakváltozási állapot jellemzően síkbeli alakváltozásnak tekinthető.

A lemez-térfogatalakítást ezzel szemben olyan alakító eljárásnak definiálhatjuk, amelynél az előgyártmány jellemzően 2D-s geometriájú lemez (azaz a geometriai értelmezés azonos a hagyományos lemezalakítással), azonban az alakítás során jellemzően 3D-s anyagáramlás (térbeli alakváltozás) történik és maga az eljárás is gyakran a klasszikus értelemben vett lemezalakító és térfogatalakító eljárások kombinációjaként értelmezhető.

A lemez-térfogatalakítás további fontos jellemzőiként említhetjük, hogy az eljárásnál kis- és nagy alakváltozást szenvedő alakváltozási zónák komplex kölcsönhatása valósul meg, amely gyakran kis tartományon belül is 2D és 3D alakváltozási és feszültségi állapotok váltakozását eredményezi. Ez a bonyolult alakváltozási és feszültségi kölcsönhatás a lemez alakváltozásának (lemezvastagság csökkenés és növekedés) gondosan szabályozott megvalósítását igényli, amely komoly technológiai kihívást jelent.

A lemez-térfogatalakítás alkalmazási célterülete jellemzően olyan integrált, funkcionális lemezalkatrészek előállítására, amelyek a lemezvastagság nagyságrendjébe eső, a lemez síkjából kiemelkedő (vagy éppen a lemezbe irányuló) alakított lokális alakelemeket (pl. fogazatok, bordázatok) tartalmaznak.

Bár a lemez-térfogatalakítás, mint terminológia csak az utóbbi években jelent meg a nemzetközi szakirodalomban, egyes technológiai variánsokkal már több évtizede találkozunk az alakítástechnikában.

Ebben a tekintetben a viszonylag nagyobb vastagságú lemezek finomkivágása az egyik legkézenfekvőbb példa. A 2. ábrán néhány tipikus finomkivágott alkatrész látható, amelyeken a fogazatok kialakítása lényegében a lemez-térfogatalakítás jellemzőit hordozza magán, bár a klasszikus osztályozások a finomkivágást egyértelműen a lemezalakításhoz sorolták.

A finomkivágás azonban gyakran – amint az a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**án is jól látható – olyan kombinált eljárást jelent,

amelynél számottevő, a lemez egy részére, de olykor annak teljes térfogatára kiterjedő 3D-s alakváltozást valósítunk meg: e sajátosság alapján ezek a finomkivágó eljárások már sokkal inkább a lemez-térfogatalakítások közé sorolhatók.

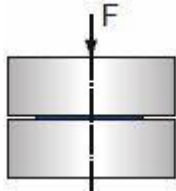
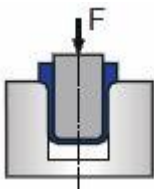
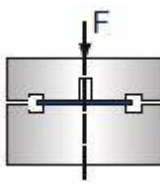
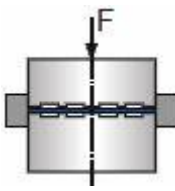
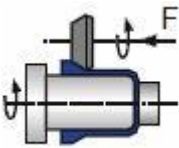
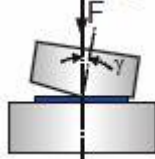
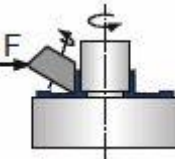


2. ábra. Finomkivágással gyártott, fogazatot tartalmazó lemez alkatrészek

3. A lemez-térfogatalakító eljárások osztályozása

A lemez-térfogatalakító eljárások osztályozásánál az előzőekben már hivatkozott Standing nevéhez fűződő osztályozás [4] jó kiindulási alapot jelent. Standing három alapvető eljárást különböztetett meg a lemez alakjának megváltoztatása szempontjából, nevezetesen: *alakadó eljárás*, amelynél a munkadarab alakjának negatívját képezzük le a szerszámon; *alakgeneráló eljárás*, amikor a munkadarab alakját a szerszám és a munkadarab relatív elmozdulása eredményezi, illetve kombinált *alakadó és alakgeneráló eljárás*, amely az előző kettő kombinációjaként eredményezi a kívánt alakot.

Merklein és munkatársai [5] Standing osztályozási rendszerét továbbfejlesztve, a lemez-térfogatalakítás egyedi osztályozását alkották meg. Ez a rendszerezés a lemezvastagság változás különféle eseteit a szerszám és a munkadarab relatív mozgásának figyelembevételével együtt értelmezi, ahogyan ez a 3. ábrán látható.

		A lemezvastagság változása szerint			
		vastagság csökkenés		csökkenés és növekedés	vastagság növekedés
A szerszámmozgás szerint	transzlációs	zömítés	falvékonyító húzás	sajtolás	érmeverés
					
	rotációs	fémnyomás		támolygó alakítás	dudor alakítás
					

3. ábra. A lemez-térfogatalakítás kombinált osztályozása [5]

A lemez-térfogatalakítás 2. pontban elemzett jellemzőit kielégítő eljárások a 3. ábra rendszerezésének megfelelően, jellemzően a szerszám és a munkadarab relatív mozgása szerint rotációs és transzlációs kinematikával megvalósított eljárások lehetnek, de a kettő kombinációja is elképzelhető. A szerszámmozgások kinematikai jellemzőitől, valamint a lemez síkjához képest elfoglalt relatív pozíciójától függően a lemezvastagság változás három alosaete különböztethető meg, nevezetesen: a lemezvastagság csökkenése, növekedése, illetve lokálisan a lemezvastagság csökkenése és növekedése is bekövetkezhet.

A következőkben a 3. ábrán vázolt eljárásokat és a potenciális alkalmazási területeiket mutatjuk be.

3.1. Lemez előgyártmány zömítése

A zömítés az egyik legtipikusabb térfogatalakító eljárás, a térfogatalakítás egyik alapeljárása, a lemez-térfogatalakításban is kiemelt jelentőségű eljárás. Gyakran más – jellemzően lemezalakító eljárással, például mélyhúzással kombináltan is alkalmazzák. A 3. ábrából is jól láthatóan a lemez előgyártmány zömítése a szerszám lineáris mozgásával valósul meg és a legtipikusabb esetben a lemezvastagság csökkenésével jár, de kombinált eljárásoknál nem ritka a lemezvastagság növekedése sem. Félkészgyártmány előállításakor a cél az anyageloszlás módosítása. Tipikus lemez-zömítéssel előállított készgyártmányok a különböző fogazott lemezalkatrészek, mint amilyenek például a 4. ábrán is láthatók.



4. ábra. Fogazott lemezalkatrész [6]

3.2. Falvékonyító húzás

Vastagfalú csészék falvastagságának csökkentésére a falvékonyító mélyhúzás régóta ismert és alkalmazott eljárás. Hagyományos osztályozási szemlélet esetén az eljárás besorolása gyakran váltott ki vitákat még a szakemberek között is, hiszen az előgyártmánya tipikusan lemez alapanyag, de az eljárás során jellemzően egy véges térfogatra lokalizált térbeli alakváltozó zóna jellemző, amely pedig a térfogatalakító eljárások sajátossága. A két jellemző önmagában is egyértelműsíti, ennek az eljárásnak a lemez-térfogatalakításba való besorolását, de a teljes egyértelműséget az utóbbi évek olyan tipikus gyártmányai hozták meg, mint amilyen az 5. ábrán is látható.



5. ábra. Bordázott lemezalkatrész [5]

3.3. Lemezek térfogati sajtolása

A lemezek térfogati sajtolása (kovácsolása) tipikus térfogatalakító eljárás komplex geometriájú alkatrészek előállítására, miközben egyúttal kiváló mechanikai tulajdonságokat érhetünk el. Ugyanakkor a hagyományos kovácsolás nem kimondottan alkalmas vékonyfalú, nagy keresztmetszet változásokkal rendelkező alkatrészek gyártására. Ezért is került a lemez-térfogatalakítás keretében a figyelem középpontjába a bonyolult geometriájú, vékonyfalú csészék lemezanyagból való sajtolása. Az eljárás számos előnnyel rendelkezik mind a tisztán lemez, illetve mind pedig a tisztán térfogat alakításokkal szemben. Az egyik legfőbb előnye a gyártási műveletek számának gyakran jelentős csökkenése. Emellett az alkatrészek optimális keresztmetszeti kialakítása, a nyomófeszültségeknek köszönhetően kedvezőbb alakíthatóság, fokozott méret- és alakpontosság említendő.

A lemezkovácsolás (lemez térfogati sajtolás) az említett előnyök mellett bizonyos hátrányokkal is rendelkezik. Mindenek előtt a rövidebb szerszám élettartamot kell megemlítenünk a kis lemezvastagságoknál fellépő jelentős kontakt nyomás miatt, és ennek következményeként az alakító gépek jelentős terhelése és energia-igénye is megemlítenendő. A többlépéses technológiát igénylő lemez térfogati sajtolással gyártott alkatrészeket gyakran célszerűen a lemezalakításban általános sorozatszámokban gyártják. Ilyen alkatrészt és a gyártás sávtervét mutatja a 6. ábra. A sorozatszámokban az automatikus továbbítás érde-

kében az alakított darabnak minél tovább a sávval együtt kell maradni, ami viszont nagyobb hulladékot eredményez.



a) Az alakítás sávterve

b) A kész alkatrész

6. ábra. Lemez térfogat sajtolás sorozatszámában

3.4. Érmeverés

Az érmeverés is a jól ismert térfogatalakító eljárások közé nyert korábban besorolást. A lemez-térfogatalakítás előtérbe kerülésével azonban az is nyilvánvalóvá vált, hogy ennek az eljárásnak is sokkal inkább a lemez-térfogatalakító eljárások között van a helye, mivel eleget tesz ezen eljárás csoport két alapvető követelményének, nevezetesen, előgyártmánya síklemez, az alakváltozási állapotot pedig a véges térfogatra lokalizálódó 3D alakváltozási állapot jellemzi.

Bár az érmeverés – nevéből következően is – egyik fő területe a különböző pénzermék, medálok gyártása, számos finom felületi részlettel rendelkező parányi alkatrész gyártásában is meghatározó jelentőségű (7. ábra).



Klasszikus érmeverés



Érmeverési eljárással gyártott miniatűr alkatrészek

7. ábra. Érmeverés eljárással gyártott termékek

Az érmeverés fontos jellegzetessége továbbá, hogy az anyagáramlás jellemzően a lemezvastagság irányában történik, ezáltal viszonylag kis képlékeny alakváltozásokat eredményez. További fontos jellemzők, hogy a felületen alakított elemek jelentősen kisebbek a munkadarab általános méreteihez viszonyítva, és mind a felületi minőség, mind a méret- és alakpontosság jelentősen fokozódik. Ez utóbbi jellemzőknek köszönhetően, számos esetben a technológiát kimondottan e célkitűzéssel alkalmazzák.

3.5. Fémnyomás

A fémnyomás (mélynyomás) hagyományos rotációs alakítási eljárás, amely már a kézművesség idején is alkalmazott technológia volt hengersizmetrikus munkadarabok síklemez-ből való előállítására. Az utóbbi évtizedekben több okból ismét előtérbe került ez az olykor már feledésbe merült, de legalábbis bizonyos mértékben jelentőségét veszített eljárás. Az egyik ok a CNC technika elterjedése.

A fémnyomást hagyományosan ún. fémnyomó padokon végezték, de lényegében bármely esztergaszerű gép alkalmas a fémnyomásra. A múlt század közepétől a CNC technika rohamos elterjedésével a kimondottan fémnyomásra készült, CNC vezérlésű alakító gépek az iparág új reneszánszát hozták. E tekintetben világszerte az egyik vezető a Leifeld Metal Spinning GmbH, amely a CNC technika fémnyomásban való hasznosításának első megvalósítói között említendő és azóta is a technológia élenjáró alkalmazója [8].

A fémnyomás alakváltozási állapotát tekintve egy inkrementális alakítás: az inkrementális alakítás kutatásának felerősödése az elmúlt évtizedekben tekinthető a másik lényeges oknak, ami miatt a fémnyomás ismét a kutatások homlokterébe került. A fémnyomásnál – hasonlóan az inkrementális alakításokhoz – az alakító szerszám (alakító görgők formájában) a munkadarabbal csak lokálisan érintkezik és a kis alakváltozási zónának is köszönhetően a hagyományos lemezalakításhoz képest olykor számottevően nagyobb alakváltozások érhetők el. Így például akár 90%-os falvastagság-csökkenés is megvalósítható, amely az alkatrészeknek kiváló kifáradási jellemzőket biztosít egyrészt a nagy alakváltozási keményedésnek, másrészt a jellemzően nyomó igénybevételnek tulajdoníthatóan [9].

A harmadik tényező, amely a fémnyomás súlyának, szerepének jelentős felértékelődését eredményezte a lemez-térfogatalakítás fogalmának bevezetése és alkalmazási területeinek kiszélesedése. A tömegcsökkentési igények és a fokozott költségcsökkentés kielégítésében számos olyan alkatrész készül lemezalapanyagból, amelyeket korábban térfogat alakítással, vagy kevésbé anyagtakarékos forgácsoló megmunkálásokkal állítottak elő. Az eljárás kiválóan alkalmas akár külső-belső fogazattal, bordázattal rendelkező hengersizmetrikus alkatrészek gyártására is (8. ábra).



8. ábra. Fémnyomással gyártott külső, illetve belső fogazattal bordázattal rendelkező hengersizmetrikus alkatrészek [10]

3.6. Támolygó (orbitális) alakítás

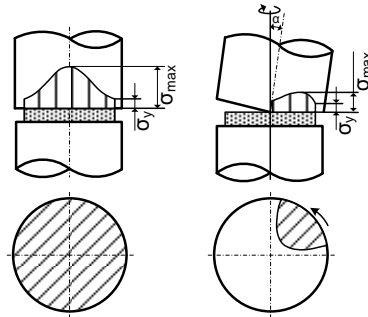
Támolygó (főleg angol nyelvterületen gyakran használt más terminológiával orbitális) alakításnál – a hagyományos térfogatalakító (pl. zömítési, folytatási) eljárásokkal szemben –

egyidejűleg csak a munkadarab egy kis tartományára kiterjedő alakváltozás történik, többnyire egy forgó, rotációs mozgást végző (támolygó) felső szerszám mozgása révén [11]. A 9. ábrán egy hagyományos zömítés és egy támolygó (orbitális) alakítás elvi vázlatja látható [12].

A támolygó alakítás lényegében egy inkrementális térfogatalakító eljárásnak tekinthető: a 9. ábrán is jól láthatóan a pillanatnyi alakváltozó zóna csak a munkadarabnak a rotációs támolygó mozgást végző szerszámmal érintkező kis felületre (helyesebben, az ábrán sraffozott felület alatti kis térfogatú tartományára – ld. az ábra jobb oldali részén) terjed ki. Hagyományos zömítésnél ezzel szemben az alakváltozás a teljes keresztmetszetre kiterjed. Ennek köszönhetően ugyanolyan méretű alkatrész zömítésénél a szerszám homlokfelületén fellépő alakító nyomás maximumához képest jóval kisebb nyomás ébred.

Az alakváltozásokat összehasonlítva a következőket állapíthatjuk meg. Hagyományos zömítésnél kétirányú alakváltozás figyelhető meg: axiális irányban a munkadarab magassága csökken, miközben radiális irányban az átmérő növekszik. Lemez előgyártmány támolygó alakításánál azonban az anyag tangenciális irányban is áramlik és lemezzvastagság növekedést, illetve csökkenést egyaránt okozhat. Ez az alakváltozási állapot az a sajátosság, ami alapján a lemezek támolygó alakítása egyértelműen a lemez-térfogatalakító eljárások csoportjába sorolható.

A támolygó alakítás fő alkalmazási területe olyan alakpontos tengelyszimmetrikus munkadarabok előállítása, amelyek hagyományosan hideg térfogat alakítással készülnek. Az eljárás különösen előnyös tárcsaszerű, vagy peremes, nagy keresztmetszeti változásokkal rendelkező alkatrészek előállítására (10.a. ábra). Sokcélú alkalmazhatóságát jól illusztrálják a különféle üreges, fogazott gyűrűs alkatrészek. Egy tipikus ipari alkalmazás kúpfogaskerek gyártása a meleg kovácsolás és hideg támolygó alakítás kombinálásával (10.b. ábra).



9. ábra. Hagyományos zömítés és az orbitális alakítás vázlatja



a) Peremes, tárcsaszerű alkatrész



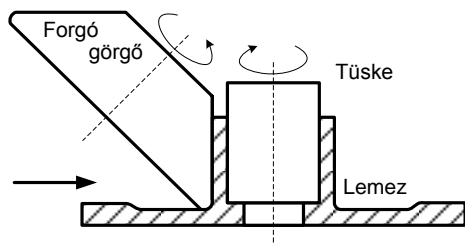
b) Kúpfogaskerék

10. ábra. Példák támolygó alakításra [13]

3.7. Dudor-alakítás (Lemez-persely alakítás)

A lemez-persely alakító eljárás a fémnyomáshoz hasonló, szintén az inkrementális alakítások közé sorolható, amellyel tárcsaszerű lemez alkatrészek középső részein alakítunk ki

hengersizmetrikus perselyt, agyat. Az eljárás elvi vázlata a 11. ábrán látható. A lemezvastagságot egy forgó kúpos görgővel csökkentjük. A forgó kúpos görgő mozgásának eredményeként az anyag a lemez közepén elhelyezett tűske irányába áramlik. Az esztergaszerű gép orsójába fogott ugyancsak forgó tűske és a kúpos görgő forgó és translációs mozgásának eredményeként kialakuló persely (agy) falvastagsága jellemzően nagyobb a kiinduló lemezvastagságnál. Ezzel az eljárással, kis gyártási költséggel, és csekély szerszámkopással, kiváló felületi minőségű, méretpontos, középpontjában persellyel (aggyal) rendelkező lemezalkatrészek gyárthatók, ipari körülmények között (12. ábra).



11. ábra. Lemez-persely gyártása lemez-térfogatalakítással [14]



12. ábra. Tárcsaszerű lemezalkatrész középonti persellyel [15]

4. Összefoglalás

Ebben a cikkben egy új, innovatív alakító eljárás csoport néhány elemét, az ún. lemez-térfogatalakító eljárásokat ismertettük. A lemez-térfogatalakító eljárások a kiinduló előgyártmány szerint a lemezalakítás csoportjába sorolhatók (geometriai definíció), míg az alakváltozási állapot alapvetően a térfogat alakításra jellemző.

A cikkben a Merklein és munkatársai [5] által kidolgozott osztályozási rendszernek megfelelően az eljárásokat a szerszám és a munkadarab relatív mozgása szerint megvalósított szerszám kinematikát, valamint a lemezvastagság változásának lehetséges eseteit számba véve rendszerezettük, ismertettük.

A szerszám és a munkadarab relatív mozgása szerint megvalósított szerszám kinematika szerint lineáris (transzlációs), illetve forgó (rotációs) szerszámmozgással megvalósított csoportok képezhetők.

A lemezvastagság változását tekintve három további alcsoport képezhető, nevezetesen, a jellemzően a lemezvastagság csökkenésével, illetve a lemezvastagság növekedésével járó eljárás típusok, továbbá azok az eljárások, amelyeknél lokálisan a lemezvastagság csökkenése és növekedése is bekövetkezhet.

Az ismertett eljárásokat tekintve az is megállapítható, hogy ezen új osztályozás, értelmezés alapján a lemez-térfogatalakítás terminológiával illetett eljárások egy része már korábban is ismert, többnyire a lemezalakító eljárások közé sorolt technológia, azonban ezen új osztályozás szerint helyesebb a lemez-térfogatalakítás fogalmát alkalmaznunk ezekkel az eljárásokkal kapcsolatban.

A lemez-térfogatalakítás alkalmazási célterülete jellemzően olyan integrált, funkcionális lemezalkatrészek előállítására, amelyek a lemezvastagság nagyságrendjébe eső, a lemez síkjából kiemelkedő (vagy éppen a lemezbe irányuló) alakított lokális alakelemeket (pl. fogazatokat, bordázatokat) tartalmaznak.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva, a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

6. Irodalom

- [1] DIN 8580, Manufacturing Processes – Classification, 2003-09, Beuth Verlag, Berlin, 2003.
- [2] Kudo, H.: Classification of metalforming operations, Annals of the CIRP, vol. 29/2, pp. 469 – 476, 1980.
- [3] Altan, T.: Metal Forming: Fundamentals and Applications, ASM Publisher, Ohio-Columbus, USA, 2012. pp.
- [4] Standring, P. M.: A new classification of metal forming processes, 7th Int. Conf. on Industrial Tools and Manufacturing Processing Technologies, 2009. pp. 81-88.
- [5] Merklein, M. et. al: Bulk forming of sheet metal, CIRP Annals-Manufacturing Technology, v.61. (2012) pp. 725-745.
- [6] Schuler-Cartec GmbH: Technologies and products, http://www.schulergroup.com/unternehmen/standorte/Deutschland/Schuler_Cartec_Goepingen/
- [7] Merklein, M., Koch, J., Opel, S., Schneider, T.: Fundamental investigations on the material flow at combined sheet and bulk forming processes, CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) pp. 283-286.
- [8] Leifeld Metal Spinning GmbH: Machines and Technology, <http://www.leifeldms.de/en/home.html>
- [9] Altan, T., Tekkaya, A. E.: Sheet metal forming processes and applications, ASM International, ISBN 978-1-61503-844-2.
- [10] Grohe, P., Fritsche, D.: Flow manufacturing processes for internally geared wheels, Int. Journal of Machine Tools, vol. 46. (2006) pp. 1261-1265.
- [11] Grohe, P., Fritsche, D., Tekkaya, A. E., Allwood, J. M., Hirt, G., Neugebauer, R.: Incremental bulk metal forming, Annals of the CIRP, vol. 56. (2007) pp. 635-656.
- [12] Oh, H. K., Choi, S.: A study on the centre thinning in rotary forging of circular plates, Journal of Materials Processing Technology, vol. 66. (1997) pp. 101-106.
- [13] ZI Kaltumformung GmbH, <http://www.zi-kaltumformung.de/Taumelpressen>, (Update: June 6th 2011).
- [14] Kawai, K., Koyama, H., Kamei, T., Kim, W.: Boss-forming – An environment friendly rotary forming, Key Engineering Materials, vol. 344. (2007) pp. 947-953.
- [15] Merklein, M.: Sheet-bulk metal forming – A state of the art and its perspectives, Tools and Technologies for Precessing Ultra High Strength Materials, 19-20. September 2013. Graz, Austria, Proc. of TTP 2013, pp. 195-204.