

3.18 | Lézeres eljárások az elektronikában 4.3 | és a mérés technikában 2.3

Tárgyszavak: lézertechnika; elektronika; mechatronika; mérés technika; MID; LDS eljárás; radar-lézeres méretmeghatározás.

A lézersugár ma már pótolhatatlan eszközzé vált az élet minden területén, és általa korábban elképzelhetetlen műszaki megoldások váltak lehetővé. A következőkben két példát mutatunk be erre: egy elektronikus eszköz, az ún. MID gyártását, ill. egy új mérőeszközt, amelynek segítségével nagy tárgyak méreteit lehet nagyon pontosan lemérni, akár nagyobb távolságból is.

Strukturált fémbevonat kialakítása lézerrel a MID-gyártásban

Az elektronikában és a mechatronikában egyre nagyobb szerepet játszanak a hőre lágyuló műanyagokból fröccsöntött, közvetlen kapcsolási lehetőséget tartalmazó eszközök (molded interconnected devices = MID). A gyártástechnológiában szerepet játszik a kétkomponensű fröccsöntés, a meleg dombornyomás és a lézeres megmunkálás (anyageltávolítás, LSS technológia, Laser-Subtraktív-Strukturieren). Most egy új elven alapuló lézeres eljárást próbálnak ki ezen a területen: a hőre lágyuló műanyagok közvetlen lézeres szerkezetalakítását (LDS módszer, Laser-Direkt-Strukturieren).

A fémes összeköttetések kialakításának általában két útja van. Az egyik esetben egy egyenletes fémréteget visznek fel a műanyag felületére, és a nem szükséges részeket utólag eltávolítják. Ezt alkalmazzák általában a nyomtatott áramkörökben. A másik az „additív” módszer, ahol először szelektíven fémkristálycsírákat (pl. palládiumot) visznek fel a műanyagra (nukleáció), és erre növesztenek oldatból vastagabb fémréteget egy második, reduktív lépésben. A szabadalmaztatott LDS módszerrel ugyancsak additív jellegű fémléválasztást végeznek, de itt másképpen történik a nukleáció. A fémkristálycsírákat (pontosabban azok prekursorait, gócképzőit) passzívált állapotban a lehető legfinomabb eloszlásban beviszik egy hőre lágyuló műanyagba, majd egy megfelelő lézeres eljárás segítségével a műanyag felületén, ahol szükséges, szabaddá teszik őket. Az eljárás második része, a reduktív fémkiválasztás, már hasonló a korábbi eljáráshoz. A fémkristály-gócképzőket tartalmazó műanyagoknak a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- a fémszemcsének megfelelő lézersugárzás hatására szabaddá kell válnia,
- a műanyag lap maga nem vezethet,
- a fémkristálycsíráknak szokásos keverési eljárással bevihetőnek kell lenniük a hőre lágyuló műanyagba,
- a fémnek vegyi és degradációs szempontból összeférhetőnek kell lennie a műanyagmátrixszal (még magas hőmérsékleten is),
- a rendszernek a műanyag-feldolgozás hőmérsékletén stabilnak kell lennie,
- nem lehet toxikus,
- az eljárásnak gazdaságosnak kell lennie.

Számos, a fenti feltételeknek megfelelő kristálygócképzőt szintetizáltak és vizsgáltak be. Bizonyos fém-kelát komplexek Nd:YAG-lézer hatására fémcsírává és szerves ligandumtöredékekké bomlanak. A sorozatgyártáshoz azonban még egy problémát kellő biztonsággal meg kellett oldani: a fém és a műanyag tapadását. Ennek megvalósításához a lézersugarat más módon is hasznosítják. A műanyagba a göcképzőkön kívül a sugárzásnak ellenálló (általában szervesetlen) töltőanyagokat is bevisznek. Amikor a lézersugárzás a felületet éri, a fémkristálycsírák képződése mellett a műanyag egy része elbomlik, és az ott maradó töltőanyag szemcsék miatt bizonyos fokú felületi érdesség alakul ki, amely javítja a tapadást. A felület geometriája és a tapadás mértéke a töltőanyag mennyiségének, anyagi összetételének, részecskeméret-eloszlásának és alakjának megfelelően, valamint a lézerkezelés paramétereinek megválasztásával tudatosan befolyásolható, illetve optimalizálható.

A fejlesztés története és a technológia jelenlegi állása

A LDS eljárást eredetileg 1996-ban fejlesztette ki a LPFK Laser & Electronics GmbH. Az alapvető fogalmak és követelmények tisztázása és definíciója után a cég a Lippei Főiskola Labor- és Mikrorendszer Tanszékével együttműködve fejlesztette ki a teljes eljárást oly módon, hogy a szabadalmi jogok a megbízó kezében maradtak. A fejlesztés főbb állomásai a következők voltak:

- 1997: a lézeres szerkezetkialakítás elvének rögzítése,
- 1998: a tapadás javítása lézeres kezeléssel,
- 1998/99: további hatóanyagok kifejlesztése,
- 2000: nagymértékű költségcsökkentés a palládium helyettesítésével,
- 2001: hatóanyagok kifejlesztése magas hőmérsékleten feldolgozható műanyagokhoz,
- 2002: az eljárás éretté válik az ipari bevezetésre.

Az együttműködés befejezése után a LPFK Laser & Electronics GmbH saját hatáskörében végzi az alkalmazástechnikai fejlesztéseket, ill. a marketingmunkát. Eddig PP, PBT és PA 6/6T mátrixszal fejlesztettek ki LDS-tech-

nológiához használható műanyagokat, amelyek különböző célokra alkalmazhatók. Az 1. táblázat példaként a részben aromás egységeket tartalmazó, hőálló (közvetlenül forrasztható) PA 6/6T tulajdonságait mutatja be. A fejlesztéssel kapcsolatban a következőket célszerű megjegyezni:

- azt, hogy a gócképzőket tartalmazó műanyagok fizikai jellemzői csak kis mértékben térjenek el a tiszta műanyagétól, csak úgy lehetett elérni, hogy nagy hatékonyságú (10%-nál kisebb mennyiségben alkalmazható) gócképzőket fejlesztettek ki;
- a műanyagok oldatos galvanizálhatósága (az úgynevezett „beugrás”) a gócképződés minőségétől függ. A LDS-eljáráshoz kifejlesztett műanyagok minden tekintetben megfelelnek a hagyományos palládiumos rendszerekre kifejlesztett szabványoknak;
- a 12 N/cm-t meghaladó lefejtési szilárdság bőven meghaladja a megkívánt 8 N/cm-es határértéket;
- az alkalmazáshoz szükséges további feltételeket (égésgátlás, üvegszálas erősítés) az időközbeni fejlesztéssel sikerült megnyugtatóan kielégíteni. A PA6/6T mátrixszal már gyártottak kis sorozatban MID eszközöket, amelyekben 200 µm széles, és 4 µm Cu + 2 µm Ni + 0,1 µm Au rétegszerkezetű vezető csíkokat alkalmaztak. A forrasztást 235 °C-on „Reflow”-eljárással végezték.

1. táblázat

A PA6/6TMID LDS (közvetlen lézeres szerkezetalkítás) technológiához alkalmazható polimer és módosítatlan változatának fizikai jellemzői

Jellemző	Egység	PA6/6T standard Ultradid KR 4350	PA 6/6TMID (LDS-típus)
Villamos tulajdonságok			
Fajlagos felületi ellenállás	ohm	3,0x10 ¹²	5,0x10 ¹²
Fajlagos térfogati ellenállás	ohm · m	1,0x10 ¹³	1,0x10 ¹³
Dielektromos permittivitás		4,0	3,55
Dielektromos veszteség (tg δ, 100 Hz)		0,0132	0,0127
Mechanikai tulajdonságok			
Szakadási nyúlás	%	11,5	>10
Szakítószilárdság	MPa	100	70
Húzómodulus	MPa	3200	3400
Sűrűség	kg/m ³	1160	1158
A fémbevonat lefejtési ellenállása	N/cm	–	>12
Feldolgozási tulajdonságok			
Olvadáspont	°C	295	295
Fröccsöntés hőmérséklete	°C	330	315

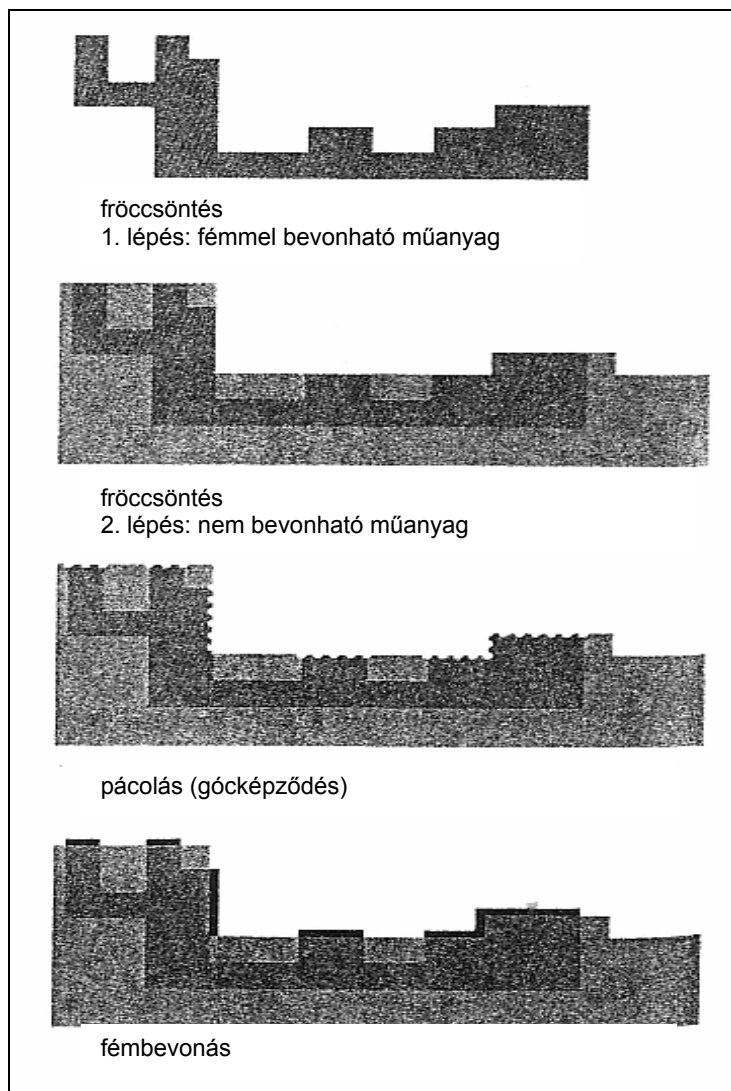
Különbéle MID-gyártástechnológiák összehasonlító elemzése

Az MID kapcsolók előállítására leggyakrabban alkalmazott módszer a *kétkomponensű fröccsöntés*. Az eljárás lépéseit sematikus az *1. ábra* mutatja. Előnyei:

- szabadon megválasztható a darab geometriája,
- csak nagy darabszámnál gazdaságos.

Hátrányai:

- igen nagyok a szerszámköltségek,
- hosszú a bevezetési idő (szerszámkészítés),
- a kapcsoló szerkezete nem változtatható rugalmasan,
- a miniatürizálhatóság korlátozott ($>200\ \mu\text{m}$ a vezető pálya szélessége).



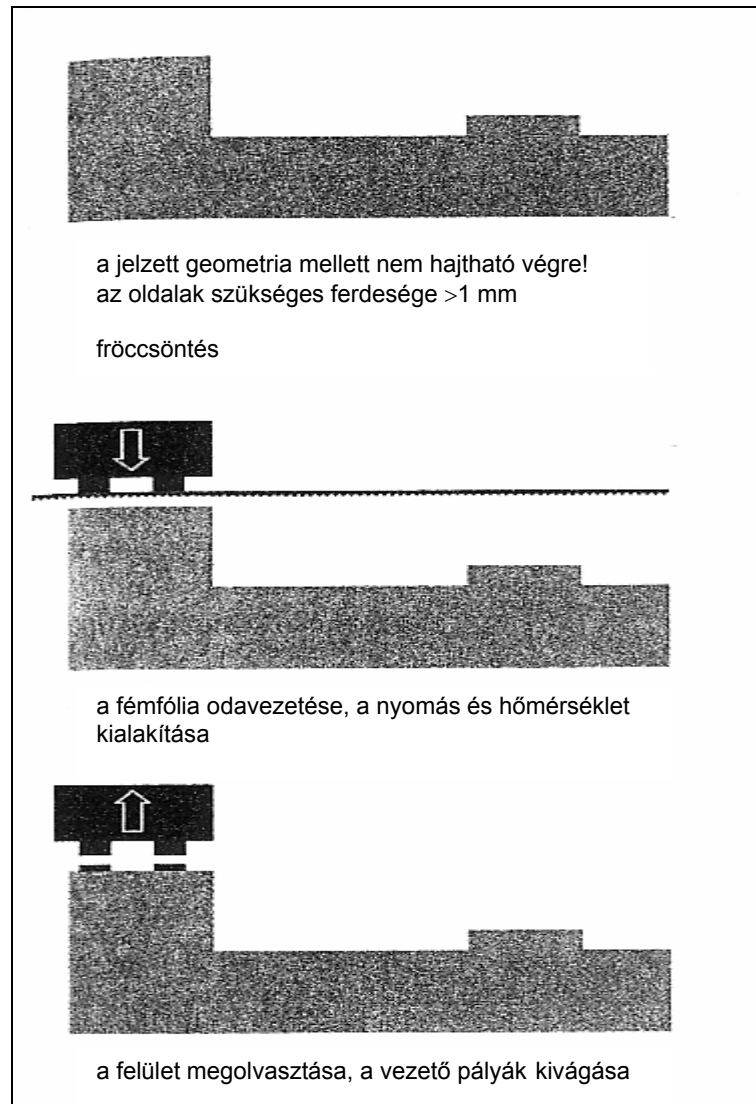
1. ábra A kétkomponensű fröccsöntés technológiai lépései

A *felületi dombornyomás módszere* (2. ábra) akkor használható, ha a vezető pályák kvázi-sík felületen vannak, vagy csak egy tengely mentén, gyengén görbülő felületeken alkalmazható. Előnye:

- vastagabb fémbevonatok hozhatók létre.

Hátrányai:

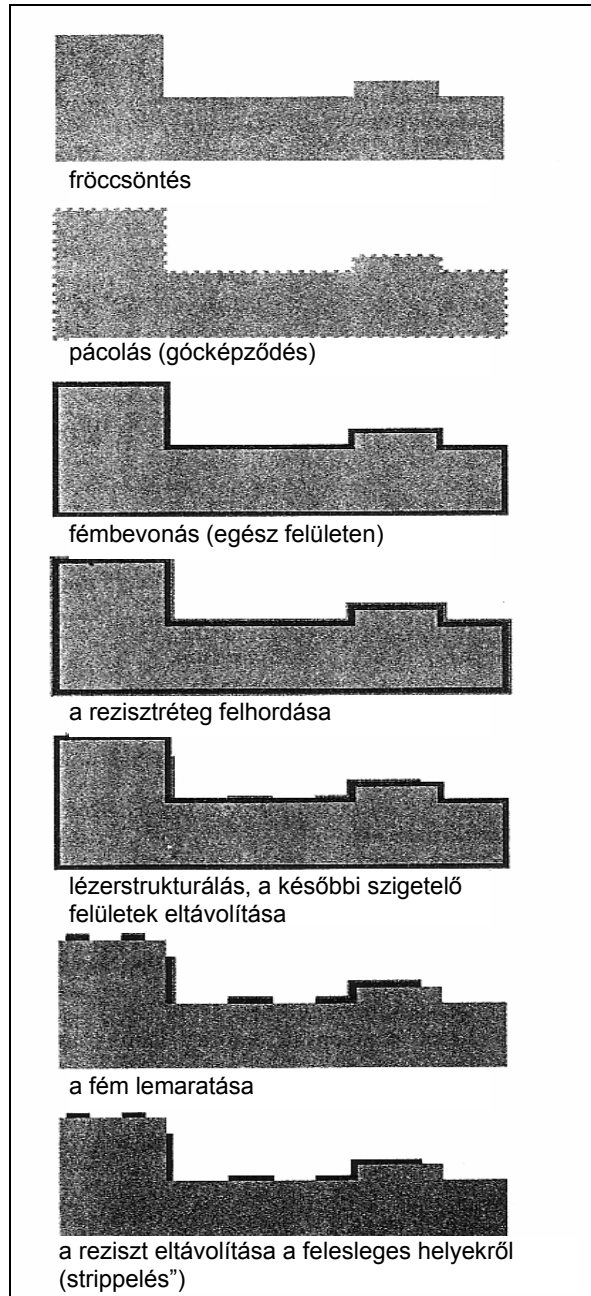
- csak meglehetősen korlátozott formájú kapcsolókat lehet előállítani,
- a dombornyomó szerszám ára magas,
- a kapcsoló szerkezete nem változtatható rugalmasan,
- a miniatürizálhatóság korlátozott ($>200 \mu\text{m}$ a vezetőpálya szélessége)



2. ábra A meleg dombornyomás technológiai lépései

A *szubtraktív lézeralakításos technológia LSS* (3. ábra) alkalmazásakor a szigetelő felületet sugározzák be, és kémiai úton viszik fel a csírákat. Előnyei:

- a geometria szabadon tervezhető,
- a miniatürizálhatóság jobb (<200 µm vezetőpálya-szélesség),
- kis szerszámköltség,
- a kapcsoló szerkezete rugalmasan változtatható.



3. ábra A szubtraktív lézeralakításos (LSS) technológia lépései

Hátrányai:

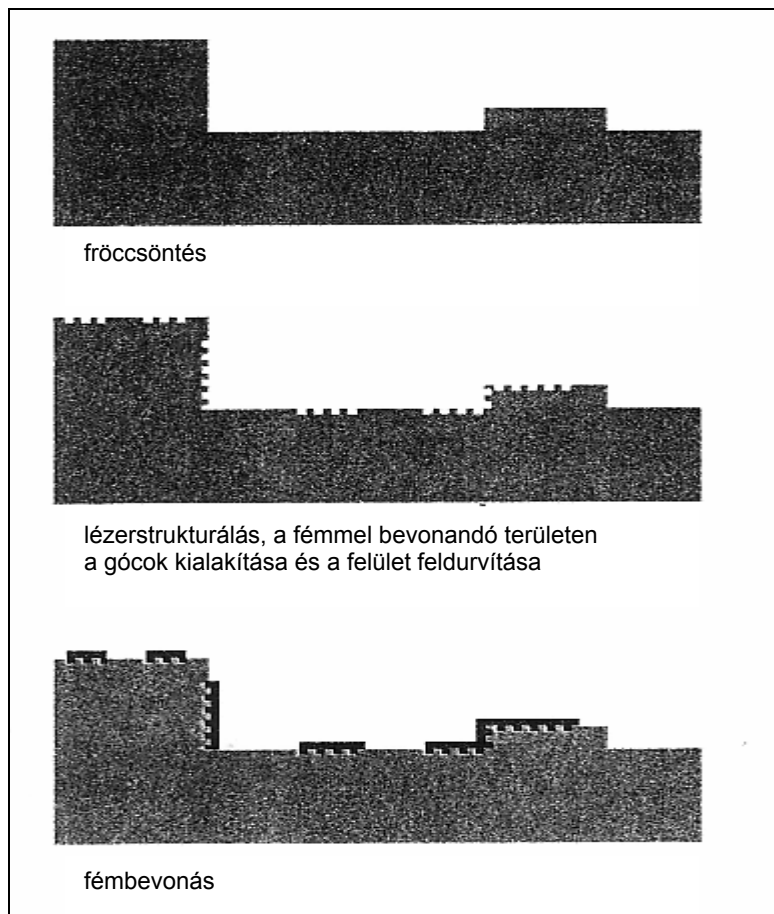
- sok a technológiai lépés,
- vegyi maratás, oldószerek használata.

A közvetlen lézeres szerkezetkialakítási technológia, LDS (4. ábra) sok tekintetben eltér a másik lézeres technológiától. Előnyei:

- a geometria szabadon tervezhető,
- a miniatürizálhatóság jobb (<200 μm a vezetópálya szélessége),
- kis szerszámköltség,
- a kapcsoló szerkezete rugalmasan változtatható,
- kevesebb technológiai lépés,
- nincs vegyi maratás és oldószerek.

Hátrány:

- egyelőre nincs sorozatgyártásra példa.



4. ábra A közvetlen lézeres szerkezetkialakítási (LDS) technológia lépései

A különböző eljárásokat feldolgozástechnikai és környezetvédelmi szempontból a 2. táblázat hasonlítja össze.

A különböző MID-technológiák összehasonlítása környezetvédelmi
és feldolgozástechnikai szempontokból

Kritérium	2K fröccsöntés	Meleg dombornyomás	LSS	LDS
Feldolgozástechnikai szempontok				
Formatervezés szabadsága	+	–	+	+
Legkisebb pályaszélesség és távolság	– >200 µm	– 200 µm	+ 100 µm	+ 100 µm
A kapcsolások szerkezetének megváltoztathatósága	– szerszám	– szerszám	+ program	+ program
Átmenő kontaktus megvalósíthatósága	+	–	+	+
Vastagabb fémréteg	–	+	–	–
Sorozatgyártás volt-e?	+	+	+	–
Környezetvédelmi szempontok				
Műanyag pácolása	–	+	–	+
Fém maratása	+	+	–	+
Reziszt eltávolítása (oldószer)	+	+	–	+
Hulladékképződés	+	–	–	+

+ előnyös, - hátrányos.

A különböző eljárások költségelemeinek összehasonlítása

A részletesebb vizsgálatból kiderül, hogy a LDS-eljárással olyan MID-termékek gyártása is megoldható, amelyekhez eddig a drága LSS eljárásra volt szükség. Különösen nyilvánvalók az LDS technológia előnye az LSS eljárással szemben a környezetvédelem területén. A további gazdasági összehasonlítást már csak a kétkomponensű fröccsöntésre (2K) valamint az LSS technológiára korlátozták, mert ezekre vannak megbízható számadatok. A költségtípusokat módszerenként a 3. táblázat foglalja össze, a négy legfontosabb költségelemre vonatkozó számszerű adatokat pedig a 4. táblázat. A számításokból kiderült, hogy a csak igen nagy darabszámoknál gazdaságos 2K eljárás 500 E darab alatt túl drága a szerszám miatt. Az LSS módszer csak akkor gazdaságosabb az LDS-nél, ha a felületnek legalább 50%-át fémmel kell borítani. Az LDS a 2K módszerhez képest igazán az 500-ezres darabszám alatt gazdaságos (5. ábra), vagy akkor, ha nagyon finom vezető pályákat kell kialakítani.

3. táblázat

A különböző MID-technológiák költségelemei

Költségelem	Költség jellege	2K fröccs-öntés	LSS	LDS
Műanyag	anyagköltség	x	x	x
Fröccsöntés	gyártási költség	x	x	x
Pácolás + gócképződés	gyártási költség	x	x	–
Vegyí galvanizálás	gyártási költség	x	x	x
Reziszt felhordása	gyártási költség	–	x	–
Lézerstrukturálás	gyártási költség	–	x	x
Rézmaratás	gyártási költség	–	x	–
Reziszt eltávolítása	gyártási költség	–	x	–

4. táblázat

Néhány MID technológia lényegesebb költségelemei a darabszám (n) függvényében

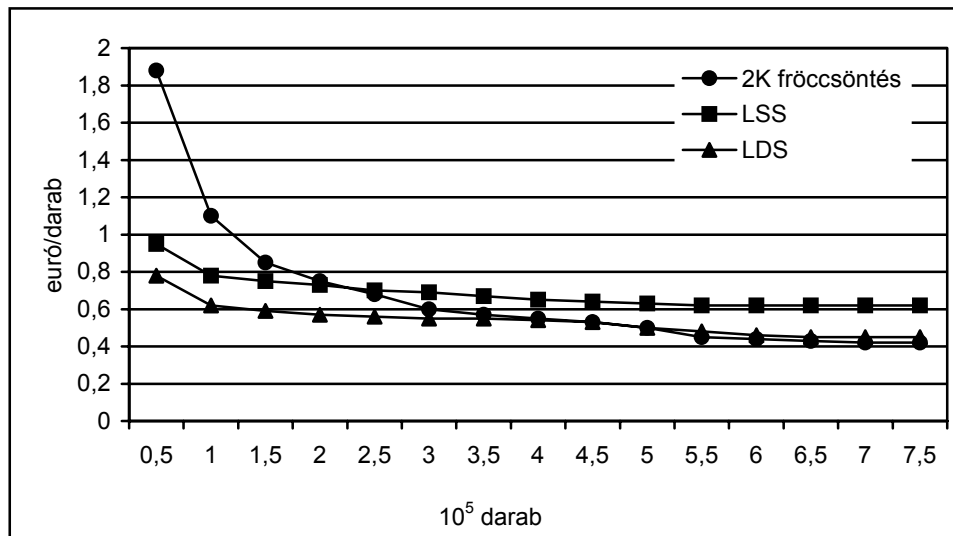
Költségelem	2K fröccsöntés	LSS	LDS
1K fröccsöntés	–	0,08 euró + 15000 euró/n	0,08 euró + 15000 euró/n
2K fröccsöntés	0,10 euró + 75000 euró/n	–	–
Lézerstrukturálás	–	0,18 euró	0,18 euró
Fémbevonás	0,25 euró	0,37 euró	0,23 euró
Összesen	0,35 euró + 75000 euró/n	0,63 euró + 15000 euró/n	0,49 euró + 15000 euró/n

Az eddigi vizsgálatok és a modellszámítások azt mutatják, hogy az LDS módszernek megvan a jövője a már létező MID technológiák mellett, sőt azokkal versenyben is. Ezt igazolja az ipar részéről tanúsított érdeklődés is a módszer iránt, amelyet remélhetőleg hamarosan bevezetnek a sorozatgyártásba.

Pontos méretek meghatározása lézer-radar technikával

A Leica cég LR2000 típusú mérőberendezése, amely egyesíti a radar, a lézer- és a 3D szoftverttechnológia előnyeit, az ipar különböző területein hasz-

nosítható. A berendezés nagymértékben automatizált, és van belőle mozgatható és telepített változat is. A mért tárgy egy láthatatlan, jól fókuszált infravörös sugárnyalábot ver vissza, és azt egy kalibrált optikai berendezés távolsággá számítja át. A mérési elv alapja a frekvenciamoduláció. A berendezés előnye a gyorsaság és a pontosság, amelynek révén begyűjthetők a háromdimenziós méretek adatai. A mérés pontosságát a felület minősége nem befolyásolja, és egy 25 m távolságban levő tárgy méretei is meghatározhatók. Nincs szükség visszaverő fóliára, külön fényforrásra vagy egyéb kézben oдавitt célberendezésre sem.



5. ábra Különböző MID-technológiák viszonylagos költsége a darabszám függvényében. (Az árak a gyártási költségekre vonatkoznak.)

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Wißbrock, H.: Laser-Direkt-Strukturieren von Kunststoffen. = Kunststoffe, 92. k. 11. sz. 2002. p. 101–105.

Grosse Bauteile präzise messen. = Plastverarbeiter, 53. k. 11. sz. 2002. p. 61.

EGYÉB IRODALOM

Kerber, M.: Regelungsfunktionen mit künstlicher Intelligenz. (Szabályozó funkciók mesterséges intelligenciával.) = Kunststoffe, 92. k. 12. sz. 2002. p. 34–37.

Schray, J.: Höchste Präzision für kleine Teile. (Nagy pontossággal fröccsöntött mikrostruktúrájú és mikromechanikai eszközök.) = Kunststoffe, 92. k. 12. sz. 2002. p. 38–41.